

JURNAL TEKNIK SIPIL

Analisis Struktur Bendung Dengan Metode Elemen Hingga

(*M.F.K. Bargess, Cindrawaty Lesmana, Robby Yussac Tallar*)

**Pemanfaatan Abu Serabut Kelapa (ASK) Sebagai Pengganti
Sebagian Semen Dengan Bahan Tambah *Sikament-LN* Untuk
Meningkatkan Kuat Tekan Beton**

(*Bing Santosa*)

**Perhitungan Debit Pada Sistem Jaringan Pipa Dengan Metoda
Hardy-Cross Menggunakan Rumus Hasen-Williams
Dan Rumus Manning**

(*Kanjalia Rusli, Agus Susanto*)

Konsep Dasar Terjadinya Angkutan Sedimen

(*Maria Christine*)

**Perbandingan Jumlah Lalulintas Jalan Antar Instansi Terkait
Di Indonesia**

(*Budi Hartanto Susilo*)

J. Tek.Sipil	Vol. 5	No. 1	Hlm.1- 92	Bandung, April 2009	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	: Yosafat Aji Pranata, ST., MT.
Ketua Dewan Penyunting	: Ir. Maksum Tanubrata, MT.
Penyunting Pelaksana	: Anang Kristianto, ST., MT. Andrias Suhendra Nugraha, ST., MT. Ir. Budi Hartanto Susilo, M.Sc. Ir. Herianto Wibowo, M.Sc. Robby Yussac Tallar, ST., MT.
Desain Visual dan Editor	: Aldrin Boy
Sekretariat dan Sirkulasi	: Dra. Dorliana, Kristianto
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. 219, 212 Fax. 022 - 2017622
E-mail	: jurnal_ts@eng.maranatha.edu, atau jurnaltsukm@gmail.com
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 :

Analisis Struktur Bendung Dengan Metode Elemen Hingga (<i>M.F.K. Bargess, Cindrawaty Lesmana, Robby Yussac Tallar</i>)	1 - 21
Pemanfaatan Abu Serabut Kelapa (ASK) Sebagai Pengganti Sebagian Semen Dengan Bahan Tambah <i>Sikament-LN</i> Untuk Meningkatkan Kuat Tekan Beton (<i>Bing Santosa</i>)	22 - 39
Perhitungan Debit Pada Sistem Jaringan Pipa Dengan Metoda Hardy-Cross Menggunakan Rumus Hazen-Williams Dan Rumus Manning (<i>Kanjalia Rusli, Agus Susanto</i>)	40 - 60
Konsep Dasar Terjadinya Angkutan Sedimen (<i>Maria Christine</i>)	61 - 77
Perbandingan Jumlah Lalulintas Jalan Antar Instansi Terkait Di Indonesia (<i>Budi Hartanto Susilo</i>)	78 - 92

ANALISIS STRUKTUR BENDUNG DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Moch. Fadhli Bargess, Cindrawaty Lesmana, Robby Yussac Tallar
Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha
Jalan Prof. Drg. Suria Sumantri MPH. 65, Bandung, 40164
Email: mf_bargess@gmail.com

ABSTRAK

Struktur bendung merupakan kebutuhan penting dalam bidang perairan. Masalah hancurnya struktur bendung dapat diakibatkan karena sudah tidak kuatnya struktur tersebut untuk menahan beban horisontal maupun beban vertikal di sekitar bendung. Metode elemen hingga telah digunakan dengan sangat berhasil dalam memecahkan persoalan – persoalan yang luas jangkauannya dalam hampir semua bidang keinsinyuran dan fisika matematis. Penerapan metode elemen hingga diterapkan untuk menghitung peninjauan tegangan, lendutan dan gaya reaksi dasar untuk struktur bendung. Studi kasus diambil dari bendung Cilemer, Jawa Barat. Struktur dianalisis dengan bantuan *software* SAP 2000. Analisis dibuat dengan pemodelan dua dimensi (elemen *shell*) dan tiga dimensi (elemen *solid*). Kedua model dimodelkan dengan perletakan pegas (*springs*) yang dianggap mewakili kondisi tanah di lapangan. Struktur bendung ditinjau terhadap berat sendiri bendung, beban lumpur, beban air normal dan beban banjir. Perbandingan tegangan arah lokal 1 dilakukan untuk kedua model untuk setiap kondisi pembebanan. Hasil tegangan maksimum untuk kedua model menghasilkan perbedaan sekitar 4%, sedangkan hasil tegangan minimum menghasilkan perbedaan yang cukup besar (~84%). Perbandingan struktur antara model dua dimensi dan tiga dimensi, menghasilkan nilai lendutan arah 1 dan arah 3 pada pemodelan dua dimensi lebih besar dibandingkan dengan pemodelan tiga dimensi. Pada struktur bendung dilakukan perbandingan hasil perhitungan gaya reaksi dasar antara manual dengan hasil perhitungan *software*. Verifikasi perhitungan tersebut menghasilkan perhitungan *software* mendekati hasil perhitungan manual. Hasil pemodelan struktur bendung menghasilkan bahwa struktur bendung dapat dihitung dengan menggunakan metode elemen hingga, baik untuk pemodelan dua dimensi (*shell*) maupun pemodelan tiga dimensi (*solid*). Pemodelan tiga dimensi disarankan untuk digunakan untuk menghasilkan analisis yang lebih akurat.

Kata kunci: struktur bendung, metode elemen hingga, analisis struktur.

ABSTRACT

Dam is the important aspect in waterwork. Shattere of dam occurred when the structure not cappable to restrain horizontal loading and vertical loading. Finite element method has been used successfully for solving problems in the engineerring and physics-mathematics cases. Finite element method is used to calculate shear stress, displacement and base reactions of dam structure. Case study is taken from Cilemer dam, Jawa Barat. Structure is calculated by using SAP 2000. The analysis is modeled in 2 dimension model (shell element) and 3 dimension model (solid element). Both of them are using springs as the support system that represent soil condition in field. Dam structure observe toward self weight, siltation, normal water and flood. The shear stress in local 1 direction is compared for the two models in each load condition. The maximum stress for the two models has resulted 4% difference, while the minimum stress has resulted bigger difference (~84%). The comparison between 2 dimension model and 3 dimension model refer to horizontal displacement and vertical displacement in global 1 and 3 direction result that 2 dimension modelling have bigger displacement compare with 3 dimension model. The verification is also calculated for software analysis results in base reaction. The verification results that the software analysis for base reaction approached the manual analysis. The dam model results that finite element method can be used for analysis, which it can be modeled either

two dimension model (shell) or three dimension model (solid). For accuracy analysis results, the three dimension model is suggested to be used.

Keywords: dam structure, finite element method, structure analysis.

1. PENDAHULUAN

Struktur merupakan kebutuhan penting dalam pembangunan baik untuk pembangunan gedung, transportasi, dan perairan. Bangunan air di Indonesia dibangun mulai dari yang sederhana sampai yang cukup rumit. Salah satu bangunan air adalah bendung. Struktur bendung adalah struktur bangunan air yang dibangun melintang sungai untuk meninggikan taraf muka air sungai sehingga dapat dialirkan secara gravitasi ke daerah yang membutuhkan. Bendung yang telah dibangun, beroperasi dan telah berfungsi dengan baik tetapi sebagian diantaranya mengalami masalah-masalah gangguan hambatan aliran, gangguan angkutan sedimen dan sampah, penggerusan setempat di hilir bendung sampai dengan masalah hancurnya bangunan dan sebagainya.

Masalah hancurnya struktur bendung dapat diakibatkan karena sudah tidak kuatnya struktur tersebut untuk menahan beban horisontal maupun beban vertikal di sekitar bendung. Struktur bendung harus dianalisis sedemikian rupa agar mendapatkan desain yang optimal untuk menahan beban-beban yang bekerja pada elemen struktur.

Perhitungan beban-beban ini akan dihitung dengan metode numerik yaitu metode elemen hingga (*finite element method*). Metode elemen hingga, pada prinsipnya membagi sebuah kontinum menjadi bagian-bagian kecil yang disebut elemen, sehingga solusi dalam tiap bagian kecil dapat diselesaikan dengan lebih sederhana.

Tujuan dari penelitian adalah menganalisis struktur bendung Cilemer di daerah Jawa Barat, dengan metode elemen hingga. Analisis tersebut dilakukan untuk melihat perilaku struktur yang terjadi.

2. DASAR TEORI

2.1. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah suatu teknik umum untuk mendapatkan pendekatan pada persoalan harga batas. Metode ini telah digunakan dengan sangat berhasil dalam memecahkan persoalan-persoalan yang luas jangkauannya dalam hampir semua bidang keinsinyuran dan fisika matematis.

Konsep yang mendasari metode elemen hingga bukanlah hal yang baru. Prinsip "*discretization*" dipergunakan hampir pada semua usaha bentuk manusia. Barangkali kebutuhan untuk "*discretization*" atau membagi sesuatu menjadi bentuk yang lebih kecil dan

dapat dimengerti yang timbul dari keterbatasan manusia. Dengan perkataan lain membagi (*discretize*) alam atau suatu fenomena menjadi bagian-bagian kecil, dan penyatuan secara keseluruhan. Umumnya pada pandangan seperti ini akan terjadi suatu unsur penyimpangan atau kesalahan, tetapi prosedur metode elemen hingga tersebut merupakan pendekatan praktis dengan toleransi penyimpangan yang dapat diterima.

2.2. Program pada Metode Elemen Hingga

Program pada metode elemen hingga akan memakai *software SAP 2000*. Disini akan ditinjau bagaimana *software* membuat suatu pendekatan yang dilakukan dengan metode elemen hingga.

2.2.1. Shell

Elemen *shell* umumnya mempunyai empat titik nodal untuk persegi dan tiga titik nodal untuk segitiga. Pada persegi, elemen *shell* mempunyai enam permukaan dan untuk segitiga mempunyai lima permukaan dan tiap-tiap permukaan dihubungkan dengan titik nodal. Tegangan dan regangan didefinisikan sebagai gaya yang bekerja terhadap area permukaan benda tersebut, dimana arah tegangan bekerja sesuai dengan sumbu koordinat dari benda tersebut. Tegangan S_{11} , S_{22} , dan S_{33} mengakibatkan tegangan langsung dan mengalami perubahan terhadap panjang benda, sedangkan S_{12} , S_{13} , S_{23} akan mengakibatkan tegangan geser dan menyebabkan terjadinya perubahan sudut. Hubungan tegangan dan regangan material yang digunakan dan yang diwakili dalam bentuk modulus elastisitas.

2.2.2. Solid

Elemen *solid* umumnya mempunyai delapan titik nodal, model *solid* merupakan tiga dimensi dan silinder merupakan enam titik nodal dimana titik nodal bertemu di pusat silinder sehingga enam nodal, dimana kondisi ini merupakan *isoparametric*. Elemen *solid* mempunyai enam permukaan, dimana tiap-tiap permukaan dihubungkan dengan titik nodal. Setiap bagian solid elemen mempunyai sumbu lokal, dimana jika diberikan beban akan mengalami deformasi terhadap tegangan pada setiap join. Tegangan dan regangan di dalam *SAP2000* didefinisikan gaya yang bekerja terhadap area permukaan benda tersebut, dimana arah tegangan bekerja sesuai dengan sumbu koordinat dari benda tersebut. Tegangan S_{11} , S_{22} , dan S_{33} mengakibatkan tegangan langsung dan mengalami perubahan terhadap panjang

benda, sedangkan S_{12} , S_{13} , S_{23} akan mengakibatkan tegangan geser dan menyebabkan terjadinya perubahan sudut. Hubungan tegangan dan regangan material yang digunakan dan yang diwakili dalam bentuk modulus elastisitas.

2.2.3. Tegangan Tiga Dimensi

Dalam praktek keteknikan biasanya intensitas gaya diuraikan menjadi tegak lurus dan sejajar dengan irisan yang diselidiki. Penguraian intensitas gaya ini pada luas kecil takberhingga. Intensitas gaya yang tegak lurus atau normal terhadap irisan disebut tegangan normal (*normal stress*) pada sebuah titik. Dari definisi tegangan normal, yang merupakan intensitas gaya pada sebuah luas, maka dapat dilihat bahwa tegangan diukur dalam satuan gaya dibagi dengan satuan luas. Gaya adalah vektor sedangkan luas adalah suatu skalar maka hasil baginya dinyatakan sebagai komponen – komponen gaya dalam arah tertentu, yang merupakan suatu besaran vektor.

Secara matematis hal tersebut tidak memenuhi hukum–hukum penjumlahan dan pengurangan vektor. Tegangan adalah vektor orde tinggi sebagai tambahan untuk memiliki besar dan arah, tegangan tersebut juga bersangkutan dengan satuan luas atas mana gaya-gaya tersebut bekerja.

2.3. Perencanaan Struktur Bendung

Tipe dan ukuran sedimen yang diangkut oleh sungai akan mempengaruhi pemilihan bahan yang akan dipakai untuk membuat permukaan bangunan yang langsung bersentuhan dengan aliran air. Biasanya bahan yang dipakai dalam struktur adalah material beton, yang jika direncana dengan baik dan dipakai di tempat yang benar, merupakan bahan lindungan yang baik pula. Beton yang dipakai untuk lindungi permukaan sebaiknya mengandung agregat berukuran kecil, bergradasi baik dan berkekuatan tinggi. Beban yang diperhitungkan dalam *software* ini adalah beban sendiri bendung, beban lumpur, beban air normal dan beban banjir. Pada perencanaan struktur bendung ini juga konstanta pegas diperhitungkan.

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN STRUKTUR BENDUNG

3.1. Data Bendung

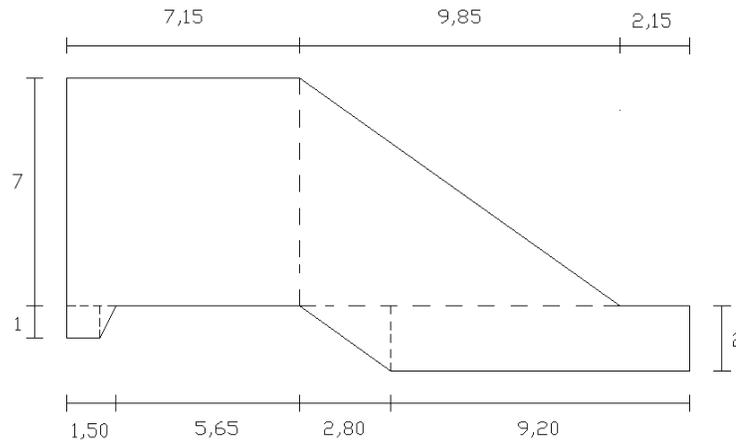
Adapun data umum struktur bendung sebagai berikut:

Nama	: Bendung Cilemer
Lokasi	: Jawa Barat
Tinggi	: 9 meter
Panjang	: 19,15 meter

Beton : Mutu beton K-225 $\rightarrow f'_c = 18,675 \text{ MPa}$

Berat jenis beton (γ_{beton}) = 23 KN/m^3

Jenis perletakan : Pegas (*springs*)



Gambar 1. Model Bendung.

Data – data pembebanan yang digunakan untuk menganalisa gaya – gaya yang bekerja pada elemen struktur bendung adalah sebagai berikut:

1. Beban Lumpur (*siltation*)

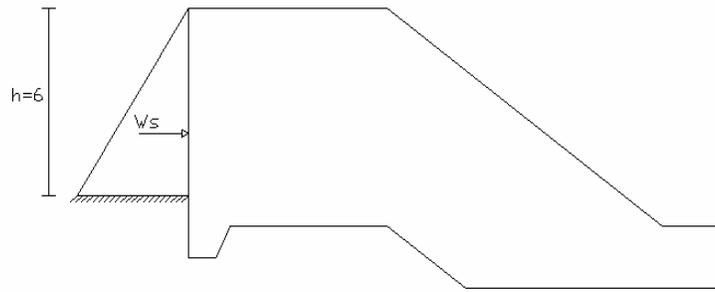
$$\gamma_s = 0,6 \text{ ton/m}^3$$

$$h = 6 \text{ m}$$

$$\phi = 20^\circ$$

Gambar 2 menggambarkan struktur bendung yang menerima beban lumpur, dimana beban lumpur dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W_s &= \frac{1}{2} \times 0,6 \times 36 \times \frac{(1 - \sin 20)}{(1 + \sin 20)} \\ &= 10,8 \times \frac{0,658}{1,342} \\ &= 5,295 \text{ ton} \end{aligned}$$



Gambar 2. Model Bendung dengan Beban Lumpur.

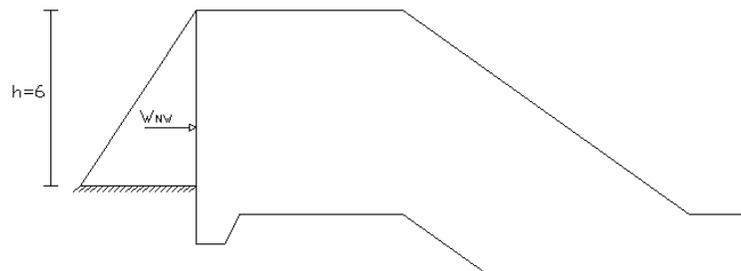
2. Beban Air Normal (*Normal water*)

$$\gamma = 1 \text{ ton/m}^3$$

$$h = 6 \text{ m}$$

Gambar 3 menggambarkan struktur bendung yang menerima beban air normal, dimana beban air dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W_{NW} &= \frac{1}{2} \times 1 \times 36 \\ &= 18 \text{ ton} \end{aligned}$$

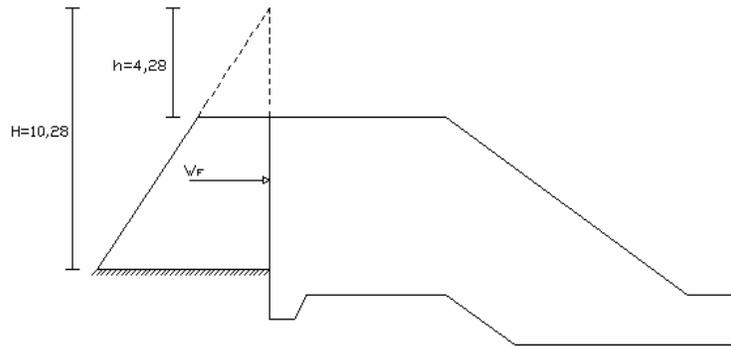


Gambar 3. Model Bendung dengan Beban Air Normal.

3. Beban Banjir (*Flood*)

Gambar 4 menggambarkan struktur bendung yang menerima beban banjir, dimana beban banjir dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W_F &= \frac{4,28 + 10,28}{2} \times 6 \\ &= 43,68 \text{ ton} \end{aligned}$$



Gambar 4. Model Bendung dengan Beban Banjir.

3.2. Pemodelan Struktur Bendung dengan Menggunakan *Software*

Pemodelan struktur bendung dilakukan dengan 2 cara, yaitu pemodelan 2 dimensi dan pemodelan 3 dimensi. Pada pemodelan 2 dimensi, struktur bendung dimodelkan sebagai elemen sengkang (*shell*). Pembebanan pada struktur 2 dimensi untuk beban lumpur, beban air normal dan beban banjir dimodelkan dengan beban terpusat di tempat titik tangkap segitiga, hal ini dikarenakan keterbatasan program SAP2000 yang tidak dapat memodelkan distribusi beban segitiga pada sisi tebal elemen *shell*. Sedangkan untuk pemodelan 3 dimensi, struktur bendung dimodelkan sebagai elemen *solid*. Pada pemodelan ini beban dimodelkan sesuai dengan asumsi beban yang biasa dipakai, yaitu beban merata segitiga untuk beban lumpur, beban air normal, dan beban merata trapesium untuk beban banjir. Perletakan untuk struktur bendung dimodelkan dengan pegas, dimana konstanta pegas^[6] dihitung sebagai berikut:

$$K = \frac{0,65}{d} \left(\frac{E_s \cdot d^4}{E_p \cdot I_p} \right)^{\frac{1}{12}} \cdot \left(\frac{E_s}{1-\nu^2} \right) \quad (2.9)$$

dimana:

K = konstanta pegas, kg/cm²

d = tebal dinding, cm

E_s = modulus elastisitas tanah, kg/cm²

E_p = modulus elastisitas beton, kg/cm²

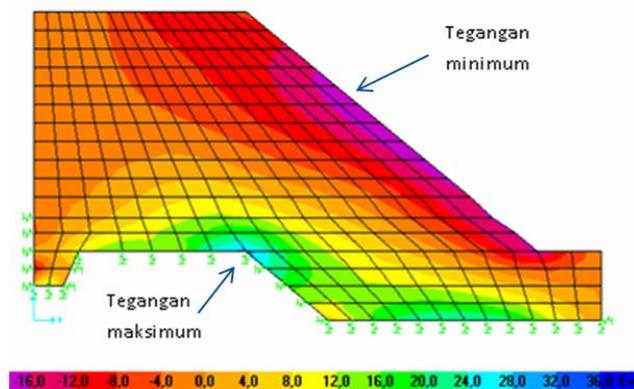
I_p = momen inersia, cm⁴

ν = *Poison ratio*

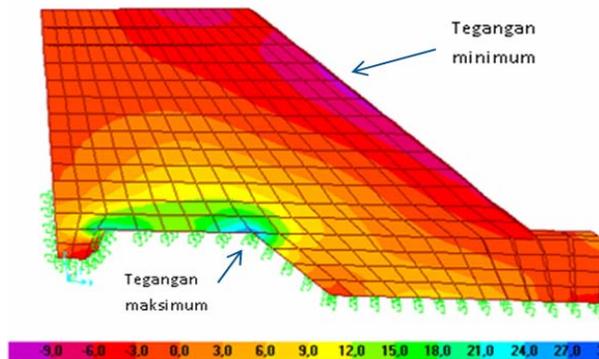
Hasil analisis struktur bendung ditinjau dengan cara melihat hasil tegangan S11, lendutan dan hasil reaksi dasar yang terjadi pada struktur bendung.

Hasil tegangan S11 untuk pemodelan struktur bendung akibat beban mati adalah pembebanan yang bekerja akibat berat sendiri struktur bendung. Tegangan untuk model bendung 2 dimensi akibat beban mati menghasilkan tegangan maksimum ($33845,93 \text{ kg/m}^2$) terjadi di bawah sekitar tekukan bendung sedangkan tegangan minimum ($-19523,6 \text{ kg/m}^2$) terjadi di sekitar wilayah terjunan bendung, seperti pada Gambar 5(a). Sedangkan tegangan untuk model bendung 3 dimensi akibat beban mati menghasilkan tegangan maksimum ($32896,59 \text{ kg/m}^2$) terjadi dibawah sekitar tekukan bendung sedangkan tegangan minimum ($-10078,94 \text{ kg/m}^2$) terjadi disekitar wilayah terjunan bendung, seperti pada Gambar 5.(b).

Posisi tegangan maksimum dan minimum untuk model 3 dimensi mendekati posisi tegangan maksimum dan minimum untuk model 2 dimensi, tetapi nilai tegangan yang dihasilkan berbeda. Perbedaan pemodelan asumsi elemen menyebabkan nilai tegangan maksimum dan minimum yang dihasilkan oleh pemodelan dua dimensi lebih besar dibandingkan pemodelan tiga dimensi. Akibat beban mati posisi tegangan maksimum dan minimum untuk model 3 dimensi mendekati posisi tegangan maksimum dan minimum untuk model 2 dimensi, tetapi nilai tegangan yang dihasilkan berbeda. Perbedaan pemodelan dua dimensi (*shell*) dan tiga dimensi (*solid*) menyebabkan nilai tegangan maksimum dan minimum yang dihasilkan oleh pemodelan dua dimensi lebih besar dibandingkan pemodelan tiga dimensi. Tegangan maksimum yang dihasilkan model 2 dimensi mendekati model 3 dimensi (% perbedaan = 2,80%), tetapi hasil tegangan minimum yang dihasilkan oleh kedua model berbeda cukup besar (% perbedaan = 48,38%). Hal ini menunjukkan model 3 dimensi lebih teliti dalam perhitungan tegangan karena elemen *solid* memodelkan 8 titik nodal, sedangkan elemen *shell* memodelkan 4 titik nodal.



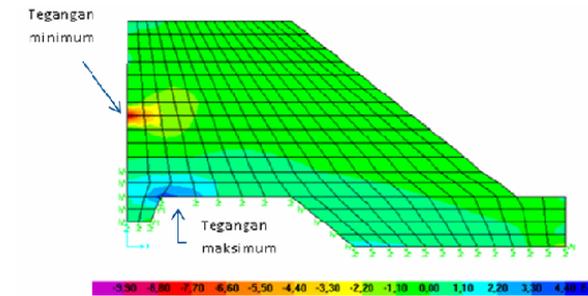
(a) Pemodelan 2 Dimensi (*Shell*)



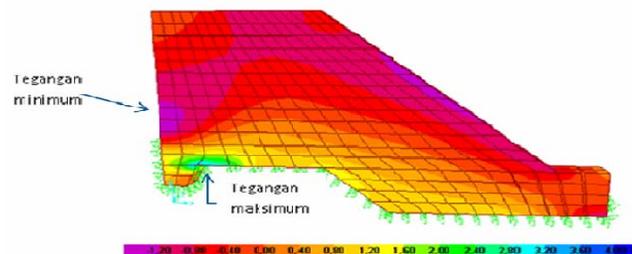
(b) Pemodelan 3 Dimensi (*Solid*)

Gambar 5. Hasil Tegangan S11 Pemodelan Struktur Bendung Akibat Beban Mati.

Beban lumpur (*siltation*) dimodelkan dengan jenis beban terpusat (*point load*) yang bekerja di atas tanah sebelah kiri bendung di tempat terjadinya lumpur sering terjadi apabila arah datangnya air dari sebelah kiri. Beban terpusat diletakan pada posisi titik tangkap beban segitiga ($1/3$ dari tinggi asumsi lumpur). Hasil tegangan S11 untuk model 2 dimensi akibat beban lumpur dapat dilihat pada Gambar 6(a). Tegangan maksimum ($4315,33 \text{ kg/m}^2$) terjadi di bawah bendung sekitar tekukan sebelah kiri, sedangkan tegangan minimum ($-10139,65 \text{ kg/m}^2$) terjadi di sebelah kiri bendung dimana posisi beban terpusat dimodelkan. Gambar 6(b) menunjukkan hasil tegangan S11 untuk model 3 dimensi akibat beban lumpur dengan pemodelan beban terdistribusi segitiga. Tegangan maksimum untuk model 3 dimensi dihasilkan sebesar $4136,83 \text{ kg/m}^2$ yang terjadi dibawah sekitar tekukan sebelah kiri bendung, sedangkan tegangan minimum ($-1565,48 \text{ kg/m}^2$) terjadi di sebelah kiri bendung sama dengan arah datangnya air. Sama dengan halnya hasil tegangan akibat beban mati, posisi tegangan maksimum dan minimum untuk model 3 dimensi mendekati posisi tegangan maksimum dan minimum untuk model 2 dimensi, tetapi nilai tegangan yang dihasilkan berbeda. Perbedaan model 2 dimensi (*shell*) dengan *point load* dan model 3 dimensi (*solid*) dengan beban distribusi segitiga, menyebabkan nilai tegangan maksimum yang dihasilkan oleh pemodelan 2 dimensi lebih besar 4,13 % dibandingkan pemodelan 3 dimensi. Sedangkan perbedaan yang cukup besar (84,56%) terjadi pada tegangan minimum kedua model, hal ini dikarenakan distribusi beban yang kurang merata pada pemodelan 2 dimensi.



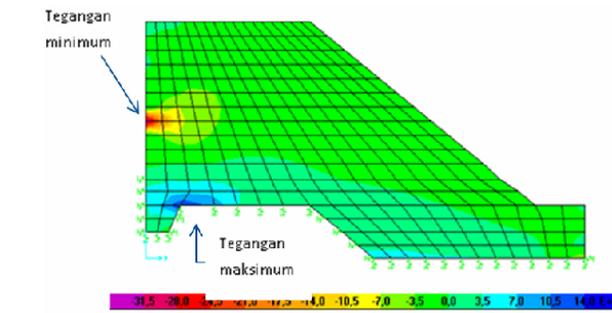
(a) Pemodelan 2 Dimensi (*Shell*)



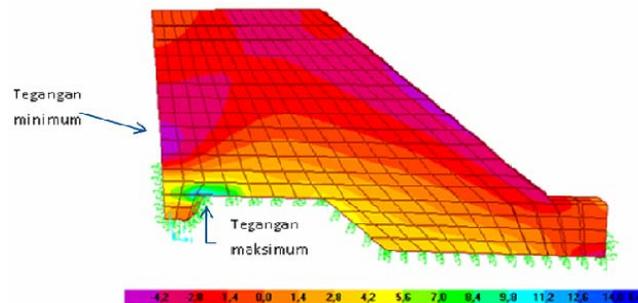
(b) Pemodelan 3 Dimensi (*Solid*)

Gambar 6. Hasil Tegangan S11 Pemodelan Struktur Bendung Akibat Beban Lumpur.

Sama dengan halnya beban lumpur, pada model 2 dimensi akibat beban air normal (*normal water*), beban dimodelkan sebagai beban terpusat (*point load*) yang bekerja di atas tanah sebelah kiri bendung, tempat dimana arah air mengalir. Tegangan S11 maksimum yang dihasilkan sebesar $14699,68 \text{ kg/m}^2$ terjadi di bawah bendung sekitar tekukan sebelah kiri, sedangkan untuk tegangan minimum sebesar $-34469,08 \text{ kg/m}^2$ terjadi di sebelah kiri bendung sama dengan posisi pemodelan beban air, seperti pada Gambar 7(a). Pada model 3 dimensi akibat beban air normal (*normal water*), beban dimodelkan dengan jenis pembebanan terdistribusi merata segitiga yang bekerja di atas tanah sebelah kiri bendung dimana arah air mengalir. Pemodelan menghasilkan tegangan maksimum ($14062,51 \text{ kg/m}^2$) terjadi dibawah sekitar tekukan sebelah kiri bendung sedangkan tegangan minimum ($-5321,61 \text{ kg/m}^2$) terjadi di sebelah kiri bendung sama dengan arah datangnya air, seperti pada Gambar 7(b). Walaupun nilai tegangan yang dihasilkan berbeda, posisi tegangan maksimum dan minimum untuk model 3 dimensi mendekati posisi tegangan maksimum dan minimum untuk model 2 dimensi. Nilai tegangan maksimum yang dihasilkan oleh model 2 dimensi lebih besar 4,31 % dibandingkan pemodelan tiga dimensi. Sedangkan perbedaan yang cukup besar (84,56%) terjadi pada tegangan minimum kedua model, hal ini dikarenakan distribusi beban yang kurang merata pada pemodelan dua dimensi.



(a) Pemodelan 2 Dimensi (*Shell*)



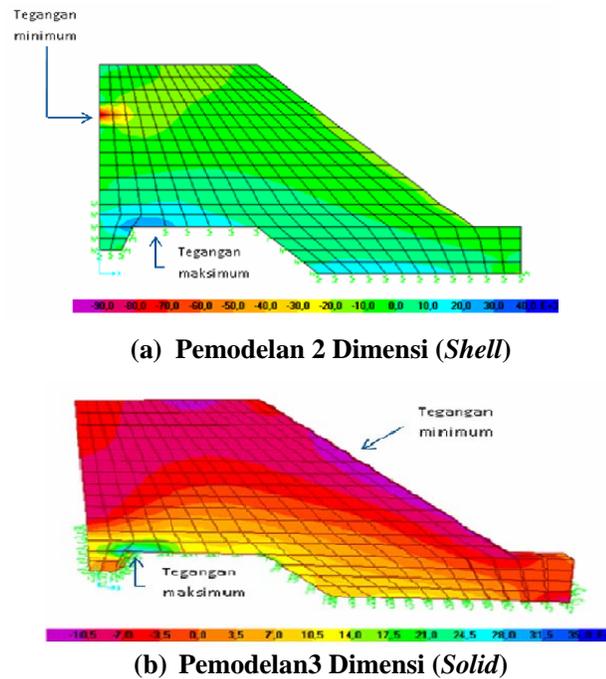
(b) Pemodelan 3 Dimensi (*Solid*)

Gambar 7. Hasil Tegangan S11 Pemodelan Struktur Bendung Akibat Beban Air Normal.

Beban banjir (*flood*) pada model 2 dimensi dimodelkan sebagai beban terpusat (*point load*) yang bekerja di atas tanah sebelah kiri bendung (arah datangnya air). Beban diletakan pada titik tangkap segitiga yaitu 1/3 dari tinggi muka air banjir. Gambar 8(a) menunjukkan tegangan maksimum ($36472,82 \text{ kg/m}^2$) terjadi di bawah bendung sekitar tekukan sebelah kiri, sedangkan tegangan minimum ($-92084,49 \text{ kg/m}^2$) terjadi di sebelah kiri bendung sama dengan posisi pemodelan beban air. Beban banjir pada model 3 dimensi dimodelkan sebagai beban terdistribusi merata segitiga terpancung atau trapesium yang bekerja di atas tanah sebelah kiri bendung, tempat dimana arah air mengalir.

Gambar 8(b) menunjukkan tegangan maksimum ($35882,29 \text{ kg/m}^2$) terjadi di bawah sekitar tekukan sebelah kiri bendung sedangkan tegangan minimum ($-13494,31 \text{ kg/m}^2$) terjadi di sekitar wilayah terjunan bendung. Berbeda dengan hasil tegangan akibat beban lainnya, posisi tegangan model 3 dimensi yang mendekati posisi tegangan model 2 dimensi hanya terjadi pada tegangan maksimum, dengan nilai tegangan maksimum model 2 dimensi lebih besar 1,62% dari model 3 dimensi. Lokasi terjadinya tegangan minimum pada

kedua model berbeda, pada model tiga dimensi beban banjir dari arah datangnya air mempengaruhi tegangan untuk tiga sisi bendung (sisi datangnya air, sisi atas dan sisi terjunan), sedangkan pada model dua dimensi tegangan minimum hanya terjadi pada satu sisi bendung (sisi datangnya air). Tegangan minimum yang dihasilkan model 2 dimensi lebih besar 85,34% dari model 3 dimensi.

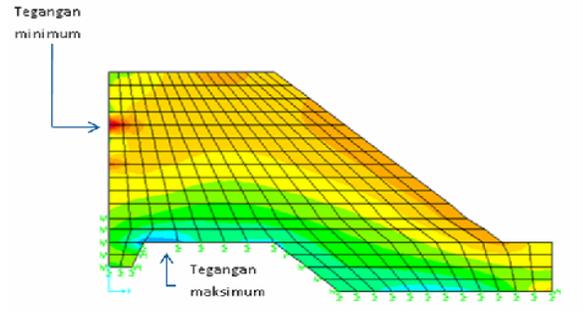


Gambar 8. Hasil Tegangan S11 Pemodelan Struktur Bendung Akibat Beban Banjir.

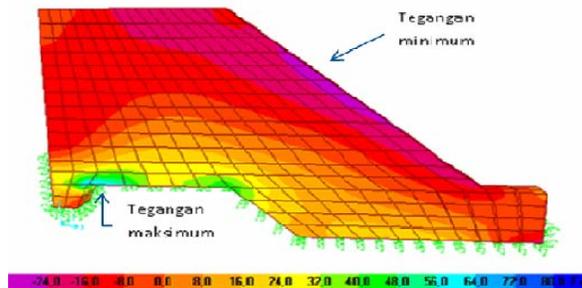
Kombinasi beban merupakan penjumlahan hasil analisis akibat dari beban sendiri, beban lumpur, beban air normal dan beban banjir. Seperti terlihat pada Gambar 9(a), tegangan maksimum ($71186,85 \text{ kg/m}^2$) terjadi di bawah bendung sekitar tekukan sebelah kiri, sedangkan tegangan minimum (-92074 kg/m^2) terjadi di sebelah kiri bendung sama dengan posisi pemodelan beban air. Pada Gambar 9(b), tegangan maksimum ($83071,28 \text{ kg/m}^2$) terjadi dibawah bendung sekitar tekukan sebelah kiri, sedangkan tegangan minimum ($-29568,46 \text{ kg/m}^2$) terjadi di sekitar wilayah terjunan bendung.

Perbedaan yang semakin signifikan terjadi pada tegangan maksimum akibat kombinasi pembebanan, hal ini terjadi akibat kumulatif perbedaan dari setiap hasil analisis beban yang terjadi. Sebagai contoh, akibat kombinasi beban tegangan maksimum model 2 dimensi berbeda 14,31% dengan model 3 dimensi, padahal apabila dilihat dari hasil

%perbedaan tegangan akibat kedua model yang terjadi akibat beban mati, beban lumpur, beban air normal dan beban banjir, tidak ada %perbedaan yang melampaui 5%.



(a) Pemodelan 2 Dimensi (*Shell*)



(b) Pemodelan 3 Dimensi (*Solid*)

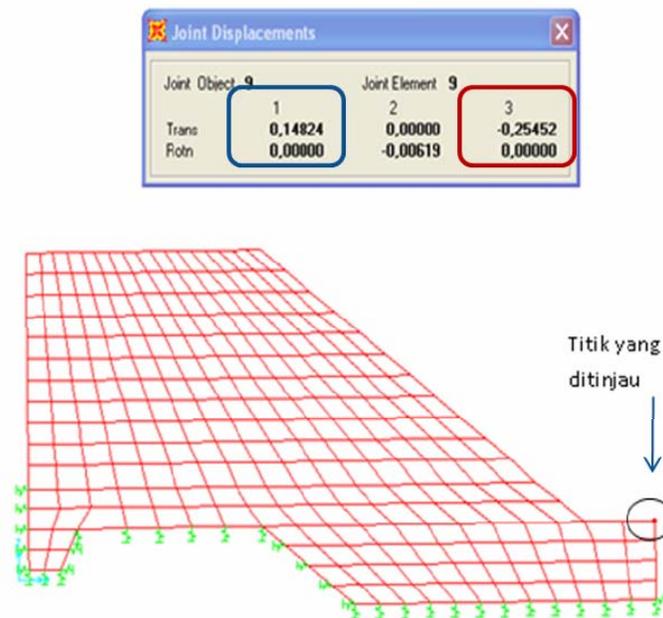
Gambar 9. Hasil Tegangan S11 Pemodelan Struktur Bendung Akibat Beban Kombinasi.

Tegangan maksimum pada kedua model selalu terjadi di daerah kaki bendung. Hal ini disebabkan tegangan maksimum ditentukan oleh gaya reaksi perletakan maksimum. Pada umumnya tegangan minimum untuk kedua pemodelan terjadi di tempat terjadinya beban. Perbedaan antara pemodelan dua dimensi dan tiga dimensi terjadi karena perbedaan asumsi model elemen *shell* (untuk model 2 dimensi) yang hanya memiliki 4 titik nodal dengan model elemen *solid* (untuk model 3 dimensi) yang memiliki 8 titik nodal. Hal ini sangat jelas ditunjukkan dari hasil kedua model akibat beban mati. Berat sendiri struktur yang dihitung secara otomatis oleh program mengakibatkan hampir tidak ada perbedaan untuk tegangan maksimum, tetapi perbedaan yang cukup signifikan terjadi pada tegangan minimum.

Hasil dari asumsi pembebanan, beban terpusat pada model 2 dimensi (*shell*) dan beban distribusi segitiga pada model 3 dimensi (*solid*) menghasilkan perbedaan sekitar 4%

untuk tegangan maksimum dan 84% untuk tegangan minimum. Hasil ini didapatkan dari pemodelan beban lumpur dan air normal dimana didapatkan % perbedaan yang hampir sama, sehingga dapat ditarik kesimpulan hasil tegangan minimum dari pemodelan 2 dimensi dapat direduksi sebesar 0,16 untuk mendapatkan hasil yang efisien.

Joint Displacement ditinjau hanya untuk 1 titik yang berada paling kanan bendung, dan untuk model 2 dimensi nilai *displacement* dalam satuan meter, seperti terlihat pada Gambar 10.

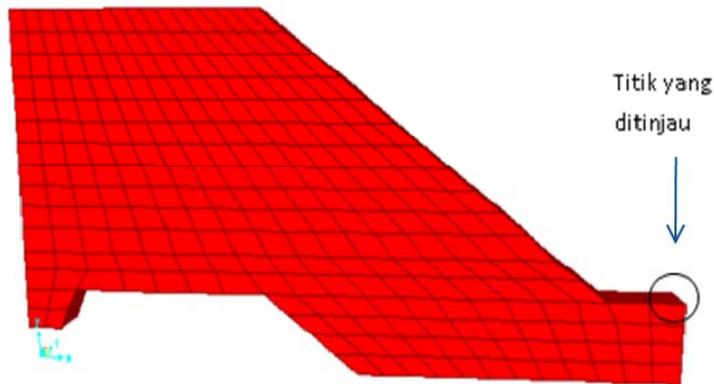


Gambar 10. Pemodelan 2D dengan pegas.

Joint displacement struktur bendung dimodelkan 3 dimensi dapat dilihat pada Gambar 11, peninjauan hanya untuk 1 titik yang berada paling kanan bendung, dan nilai yang dilihat dalam satuan meter.

Perbandingan struktur antara model 2 dimensi dengan 3 dimensi dilihat dari nilai lendutan arah 1 dan arah 3, pemodelan dua dimensi menghasilkan lendutan lebih besar dibandingkan pemodelan tiga dimensi. Hal ini dikarenakan pemodelan beban dua dimensi hanya dilakukan dengan model pendekatan sedangkan pemodelan beban pada model tiga dimensi lebih terdistribusi sehingga perhitungan akan mendapatkan ketelitian yang lebih akurat.

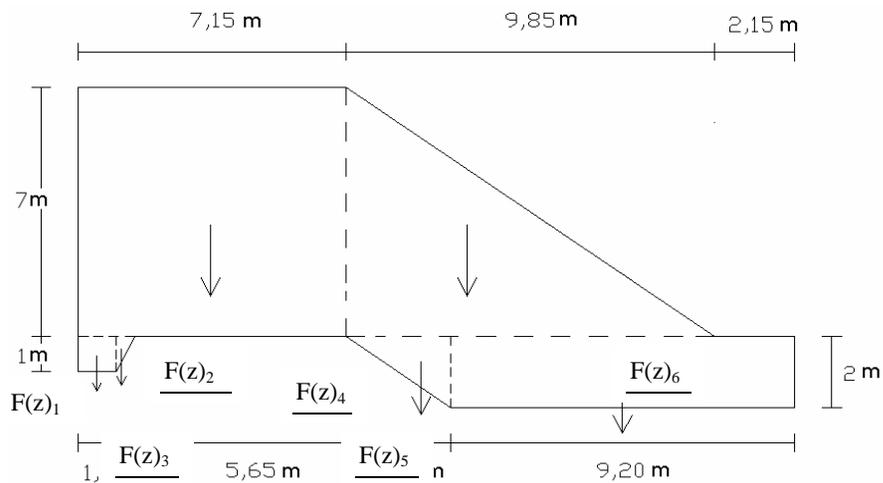
Joint Displacements			
Joint Object	Joint Element 9		
1	2	3	
Trans	0,00519	-0,00285	-0,00296
Rotn	0,00000	0,00000	0,00000



Gambar 11. Pemodelan 3D dengan pegas.

Korelasi Antara Hasil Perhitungan Manual Dengan Model Software

Beban mati dapat dihitung dengan cara mengalikan berat jenis beton dengan area bendung. Beton Ilustrasi pembagian area bendung dapat dilihat pada Gambar 12. Adapun nilai dan perhitungan gaya reaksi dasar vertikal dan momen dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 12. Gambar pembebanan beban mati.

Tabel 1. Tabel Perhitungan beban mati.

No	Fz (Kg)	Jarak (m)	M (Kg.m)
1	2345,00	18,65	43734,25
2	586,25	17,98	10542,73
3	117367,25	15,58	1827994,92
4	6566,00	10,13	66535,47
5	80843,88	8,72	704689,11
6	43148,00	4,60	198480,80
Total	250856,38		2851977,28

Besarnya beban lumpur terhadap arah x (Fx) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 F(x) &= \frac{1}{2} \times 0,6 \times 36 \times \frac{(1 - \sin 20)}{(1 + \sin 20)} \\
 &= 10,8 \times \frac{0,658}{1,342} \\
 &= 5,295 \text{ Ton} = 5295 \text{ kg} \\
 M &= 5,295 \times 5 \\
 &= 26,475 \text{ Ton.m} = 26475 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

Besarnya beban air normal terhadap arah x (Fx) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 F(x) &= \frac{1}{2} \times 1 \times 36 \\
 &= 18 \text{ Ton} = 18000 \text{ kg} \\
 M &= 18 \times 5 \\
 &= 90 \text{ Ton.m} = 90000 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

Besarnya beban banjir terhadap arah x (Fx) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 F(x) &= \frac{4,28 + 10,28}{2} \times 6 \\
 &= 43,68 \text{ Ton} = 43680 \text{ kg} \\
 M &= 43,68 \times 6,447 \\
 &= 281,5904 \text{ Ton.m} = 281590,4 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

Hasil perbandingan perhitungan manual dengan perhitungan *software* dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Perbandingan hasil manual dengan hasil *Software* 2D dalam satuan ton.m.

Load	Fx		% Relatif	Fz		% Relatif	My		% Relatif
	Manual	2D		Manual	2D		Manual	2D	
Dead	0	0	0	250856,375	250756,82	0,040	-2851977,28	-1950094,65	31,623
Siltation	-5295	-5295	0	0	0	0	-26475	-27696,92	4,615
Normal Water	-18000	-18000	0	0	0	0	-90000	-94153,85	4,615
Flood	-43680	-43680	0	0	0	0	-281590,4	-299040	6,197
Combination	-66975	-66975	0	250856,375	250756,82	0,040	-3250042,68	-2370985,42	27,048

Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa persen relatif hasil manual mendekati dengan hasil *software* 2D, kecuali untuk nilai momen (My) akibat berat sendiri, beban banjir, dan kombinasi.

Tabel 3. Perbandingan hasil manual dengan hasil *Software* 3D dalam satuan ton.m.

Load	Fx		% Relatif	Fz		% Relatif	My		% Relatif
	Manual	3D		Manual	3D		Manual	3D	
Dead	0	0	0	250856,375	250756,82	0,040	-2851977,28	-1950094,65	31,623
Siltation	-5295	-5295,13	0,002	0	0	0	-26475	-26475,66	0,002
Normal Water	-18000	-18000	0	0	0	0	-90000	-90000	0
Flood	-43680	-44040	0,817	0	0	0	-281590,4	-246240	12,554
Combination	-66975	-67335,13	0,535	250856,375	250756,82	0,040	-3250042,68	-2312810,31	28,838

Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa persen relatif hasil manual mendekati dengan hasil *software* 3D, kecuali untuk nilai momen (My) akibat berat sendiri, beban banjir, dan kombinasi.

Berdasarkan Tabel 4 terlihat bahwa persen relatif hasil *software* 2D mendekati dengan hasil *software* 3D, kecuali untuk nilai momen (My) akibat beban banjir.

Tabel 4. Perbandingan hasil *Software* 2D dengan hasil *Software* 3D dalam satuan ton.m.

Load	Fx		% Relatif	Fz		% Relatif	My		% Relatif
	2D	3D		2D	3D		2D	3D	
Dead	0	0	0	250756,82	250756,82	0	-1950094,65	-1950094,65	0
Siltation	-5295	-5295,13	0,002	0	0	0	-27696,92	-26475,66	4,613
Normal Water	-18000	-18000	0	0	0	0	-94153,85	-90000	4,615
Flood	-43680	-44040	0,817	0	0	0	-299040	-246240	21,442
Combination	-66975	-67335,13	0,535	250756,82	250756,82	0	-2370985,42	-2312810,31	2,515

Perhitungan *software* untuk pemodelan dua dimensi dan pemodelan tiga dimensi menghasilkan hasil perhitungan yang mendekati hasil perhitungan manual. Hal ini dapat

dilihat dari Tabel 2 dan Tabel 3, dimana hasil persen relatif perbedaan gaya reaksi dasar untuk arah x dan z lebih kecil dari 1 %. Selain perhitungan manual, metode elemen hingga dengan bantuan program SAP 2000 dapat juga digunakan untuk menganalisis gaya dan tegangan struktur bendung.

Contoh aplikasi dalam hasil analisis gaya reaksi dasar dan momen terhadap pengontrolan stabilitas bendung terhadap banjir (*flood*):

$$H = 43,680 + 5,295 = 48,975 \text{ ton}$$

$$V = 250,856 \text{ ton}$$

$$MR = 2851,977 \text{ ton.m}$$

$$MOT = 26,475 + 281,590 = 308,065 \text{ ton.m}$$

1. *Overtuning*

$$S.F = \frac{MR}{MOT} = \frac{2851,977}{308,065} = 9,258 > 1,5$$

$$a = \frac{\sum M}{V} = \frac{2851,977 - 308,065}{250,856} = 10,141 \text{ m}$$

$$e = \left| \frac{19,15}{2} - 10,141 \right| = 0,566 \text{ m} < \frac{19,15}{6} = 3,192 \text{ m}$$

2. *Sliding*

$$S.F = \frac{f \times V}{H} = \frac{0,65 \times 250,856}{48,975} = 3,329 > 1,5 \rightarrow \text{memenuhi}$$

3. *Bearing Capacity*

$$a = 10,141 \text{ m}$$

$$e = 0,566 \text{ m}$$

$$M_V = 250,856 \times 0,566 = 141,984 \text{ ton.m}$$

$$M_H = 26,475 + 281,59 = 308,065 \text{ ton.m}$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{V}{A} \pm \frac{M}{W} \\ &= \frac{250,856}{1 \times 19,15} \pm \frac{141,984}{\frac{1}{6} \times 1 \times (19,15)^2} \end{aligned}$$

$$\sigma_{\text{Maksimum}} = 15,422 \text{ ton/m}^2 = 1,542 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_{\text{Minimum}} = 10,776 \text{ ton/m}^2 = 1,078 \text{ kg/m}^2$$

4. KESIMPULAN

Nilai lendutan arah 1 dan arah 3 untuk pemodelan dua dimensi dan tiga dimensi menghasilkan lendutan pada pemodelan dua dimensi lebih besar (0,14 m untuk arah 1 dan 0,25 m untuk arah 3) dibandingkan dengan pemodelan tiga dimensi.

Hasil perhitungan software pemodelan tiga dimensi lebih teliti jika dibandingkan dengan hasil perhitungan pemodelan software dua dimensi, hal ini terlihat distribusi tegangan lebih merata pada pemodelan tiga dimensi dibandingkan dengan pemodelan dua dimensi.

Hasil perhitungan untuk gaya reaksi dasar pada software model dua dimensi dan tiga dimensi mendekati hasil perhitungan manual, tetapi karena kesamaan pendekatan beban pada model dua dimensi dengan manual, maka hasil gaya reaksi dasarnya lebih mendekati hasil perhitungan manual dibandingkan model tiga dimensi.

Perilaku struktur bendung yang merupakan salah satu bangunan hidroteknik, dapat dimodelkan dengan metode elemen hingga, secara model 2 dimensi (*shell*) maupun secara model 3 dimensi (*solid*). Hal ini terbukti dari hasil pada lendutan, gaya reaksi dasar dan tegangan. Khususnya untuk nilai tegangan S11 minimum balok, nilai tegangan dari model 2 dimensi dapat dikalikan dengan faktor pengali sebesar 0,14 untuk mendapatkan hasil yang optimal (mendekati pemodelan 3 dimensi)

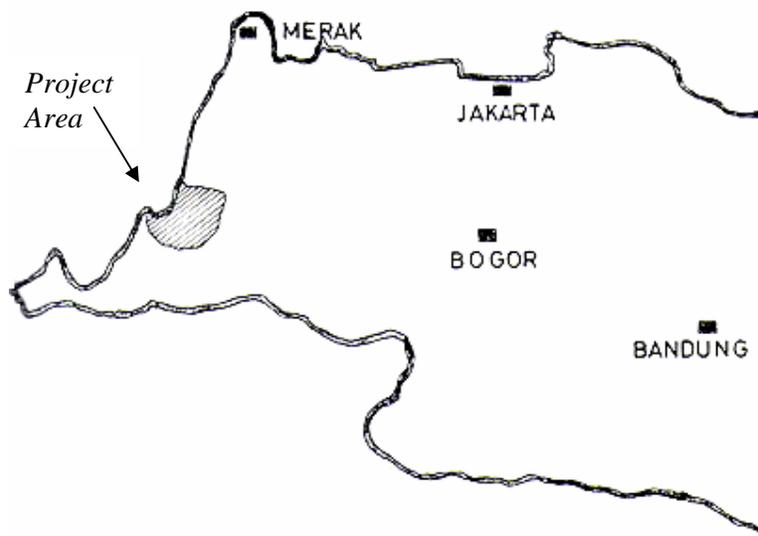
Dibutuhkan kajian lebih dalam untuk menganalisis bangunan hidroteknik lainnya dengan menggunakan metode elemen hingga, jika menggunakan program *SAP 2000* dianjurkan menggunakan pemodelan tiga dimensi agar mendapatkan ketelitian yang lebih akurat. Perlunya penelitian lebih lanjut mengenai korelasi faktor pengali antar pemodelan sederhana dengan 2 dimensi dan pemodelan 3 dimensi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Daniel, L.S., (1999). *Struktur*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
2. Hadipratomo, W., (2005). "*Dasar-dasar Metode Elemen Hingga*", PT. Danamartha Sejahtera Utama.
3. Hadipratomo, Winarni, R., Paulus P., (1996). *Pengenalan metode elemen hingga pada Teknik Sipil*, Nova, Bandung.
4. Wiryanto, D., (2004). *Aplikasi rekayasa kontruksi dengan SAP2000*, PT. Elex media komputindo, Jakarta.

5. Erman, M., Moch. Memed., (2002). *Desain Hidraulik Bendung Tetap Untuk Irigasi Teknik*, Alfabeta.
6. Joseph, E.B., *Foundation Analysis and Design*, McGraw-Hill Book Company, USA.

Lampiran 1. Peta Lokasi Bendung.



PEMANFAATAN ABU SERABUT KELAPA (ASK) SEBAGAI PENGANTI SEBAGIAN SEMEN DENGAN BAHAN TAMBAH SIKAMENT-LN UNTUK MENINGKATKAN KUAT TEKAN BETON

Bing Santosa

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Janabadra
Jl. Tentara Rakyat Mataram No. 55 – 57 Tel. (0274) 543676 – Fax (0274) 561039 Yogyakarta 55231
e-mail: bing_santosa@yahoo.com

ABSTRACT

Strength of concrete is fundamentally a function of the volume of voids in it. If the porosity of concrete is getting lower, the strength is increase, but workability more difficult. Concrete has a very high strength, if it has a very low porosity. To make concrete with small or little porosity and workable use pozzoland and superplasticizer. In this research about concrete which pozzoland from coconut fiber powder that pass sieve no. 200 as cement substitution and Sikament-LN as superplasticizer. Percentage of pozzoland as cement substitution are 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, 15%, and Sikament-LN is 1% from cement weight with 10% water reducer. The age of specimens test are 28 days.

The result of this research show that the maximum concrete strength with coconut fiber powder as cement substitution and Sikament-LN 1% with 10% water reducer is 38,128 MPa or increase 5,663 MPa (17,443 %) which is achieved by concrete with coconut fiber powder 2,5% as cement substitution compared with normal concrete.

Keywords: Coconut fiber powder, Sikament-LN, Compression strength

ABSTRAK

Kuat tekan beton pada dasarnya adalah sebuah fungsi dari volume pori/rongga pada beton itu sendiri. Jika porositas beton semakin kecil, kekuatannya meningkat, tetapi pengerjaannya akan semakin sulit. Beton mempunyai kuat tekan tinggi, jika porositasnya sangat kecil. Untuk membuat beton dengan porositas kecil dan mudah dalam pengerjaannya digunakan *pozzoland* dan *superplasticizer*.

Penelitian ini adalah tentang beton dengan *pozzoland* dari Abu Serabut Kelapa (ASK) yang lolos saringan no. 200 sebagai pengganti sebagian semen dan *Sikament-LN* sebagai *superplasticizer*. Persentase Abu Serabut Kelapa (ASK) sebagai pengganti sebagian semen sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, dan 15%, sedangkan *Sikament-LN* sebesar 1% dari berat semen dengan pengurangan air sebesar 10%. Pengujian dilaksanakan pada umur 28 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton maksimum dengan Abu Serabut Kelapa (ASK) sebagai pengganti sebagian semen dan *Sikament-LN* 1% dengan pengurangan air 10%, yaitu sebesar 38,128 MPa atau meningkat sebesar 5,663 MPa (17,443 %) yang dicapai pada pemakaian Abu Serabut Kelapa (ASK) sebesar 2,5% sebagai pengganti sebagian semen dibandingkan dengan beton normal.

Kata kunci: Abu Serabut Kelapa (ASK), *Sikament-LN*, kuat tekan

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan bahan struktur yang paling banyak digunakan dalam pembangunan khususnya bangunan gedung, dikarenakan beton termasuk bahan yang mempunyai kuat tekan tinggi, tahan terhadap kebakaran dan keausan, tahan cuaca, dan harganya relatif murah, karena menggunakan bahan-bahan dasar dari lokal, dapat diangkut maupun dicetak sesuai keinginan, biaya perawatan relatif murah, serta dapat direncanakan kualitas mutu betonnya sesuai dengan kebutuhan.

Dengan adanya krisis moneter, maka harga bahan-bahan penyusun beton mengalami kenaikan yang cukup tinggi, baik harga semen, agregat halus, maupun kasar. Kajian dari naiknya harga bahan-bahan tersebut, maka dituntut untuk mencari dan mempergunakan pengganti bahan penyusun beton yang lebih ekonomis dan efisien tanpa mengabaikan ketentuan-ketentuan yang disyaratkan. Salah satu alternatif untuk mengatasi masalah ini, yaitu dengan menggunakan Abu Serabut Kelapa (ASK) dari daerah Purworejo, Jawa Tengah sebagai pengganti sebagian semen.

Kuat tekan beton akan semakin tinggi bila porositasnya rendah. Porositas ditentukan oleh faktor air semen. Semakin rendah nilai faktor air semen, semakin kecil porositasnya, tetapi pengerjaan atau konsistensi dari beton sangat kecil. Untuk mengatasi kesulitan pengerjaan beton tersebut digunakan *chemical admixtures*, yaitu *superplasticizer*. Salah satu *superplasticizer* yang dapat digunakan adalah *Sikament-LN* yaitu jenis bahan tambah kimia untuk pengurang kadar air (*water reducer*) dan pemercepat waktu ikat (*accelerator*) yang diproduksi oleh PT. Sika Nusa Pratama Indonesia.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat beton alternatif dengan memanfaatkan Abu Serabut Kelapa (ASK) dan *Sikament-LN* sebagai bahan tambah kimia untuk mendapatkan nilai optimum dari penambahan tersebut ditinjau terhadap kuat tekan beton pada umur beton 28 hari.

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan dan informasi tentang persentase penambahan Abu Serabut Kelapa (ASK) dan *Sikament-LN* sebagai bahan tambah kimia terhadap kuat tekan beton dan memanfaatkan limbah Abu Serabut Kelapa (ASK) semaksimal mungkin.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Beton adalah campuran antara agregat halus (pasir), agregat kasar (batu pecah), air dalam jumlah tertentu, dan semen *Portland* atau semen hidraulik dengan atau tanpa bahan tambah. Campuran tersebut bila dituang dalam cetakan dan didiamkan, maka akan menjadi keras. Kekuatan, keawetan, dan sifat beton tergantung pada sifat-sifat dasar penyusunnya, selama penuangan adukan beton, cara pemadatan, dan rawatan selama proses pengerasan. (Kardiyono,1992).

Bahan campuran tambahan (*admixtures*) adalah bahan yang bukan air, agregat, maupun semen yang ditambahkan ke dalam campuran sesaat atau selama pencampuran. Fungsi dari bahan ini adalah untuk mengubah sifat-sifat beton agar menjadi cocok untuk pekerjaan tertentu, ekonomi, atau untuk tujuan lain seperti menghemat energi. (Nawy, 1990).

Nilai kekuatan dan daya tahan (*durability*) beton merupakan fungsi dari banyak faktor, diantaranya adalah nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan pengecoran, temperatur, dan kondisi pengerasannya. (Istimawan,1994).

Agregat, semen, dan air dicampur sampai bersifat plastis, sehingga mudah untuk dikerjakan. Sifat inilah yang memungkinkan adukan beton dapat dicetak sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Dengan bercampurnya semen dengan air dan agregat, terjadi reaksi kimia yang pada umumnya bersifat hidrasi yang menghasilkan suatu pengerasan dan pertambahan kekuatan yang berlangsung terus-menerus pada suatu kelembaban dan suhu yang sesuai. Sifat beton dipengaruhi oleh perbedaan pada kekuatan dan sifat-sifat bahan, cara menakar, mencampur, juga cara-cara pelaksanaan pekerjaan. (Murdock dan Brook,1986).

Alexander (2003) melakukan pengujian mengenai Abu Serabut Kelapa (ASK) dan diperoleh hasil komposisi senyawa ASK (dalam satuan persen berat) yang terdiri atas unsur SiO_2 sebanyak 42,98%; Al 2,26%; Fe 1,16%. Hasil penelitian Silica Oksida yang terdapat pada ASK dapat bersifat reaktif (*amorphous*) yang memungkinkan SiO_2 bereaksi secara kimia dengan Ca(OH)_2 atau kapur bebas hasil dari reaksi hidrasi semen dengan air.

3. LANDASAN TEORI

3.1. Materi Penyusun Beton

3.1.1. Semen *portland*

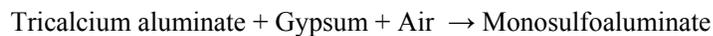
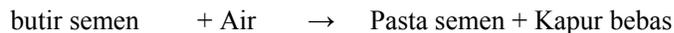
Semen *Portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis, dan *gips* sebagai

pengontrol waktu pengikatan. Komposisi semen *Portland* dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. Komposisi semen *portland*

Kandungan	Rumus	Singkatan	% berat
Tricalcium silicate	3 CaO.SiO ₂	C ₃ S	55
Dicalcium silicate	2 CaO.SiO ₂	C ₂ S	20
Tricalcium aluminate	3 CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A	10
Tetracalcium alumino ferrite	4 CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₃ AF	8
Gypsum	CaOSO ₃ .2 H ₂ O	CŠH ₂	5

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa C₂S dan C₃S adalah dua senyawa yang paling penting dan memberikan kontribusi yang paling besar terhadap kekuatan pasta semen. Oksida ini akan membentuk massa yang padat setelah bereaksi dengan air. Kedua senyawa ini terkandung dalam semen *Portland* lebih dari tiga perempat bagian. Sedangkan C₃A memberi kontribusi yang kecil bagi kekuatan semen kecuali pada usia awal dan ketika proses pengerasan semen pada kondisi lingkungan yang mengandung sulfat. Senyawa ini bereaksi secara eksotermik dan berpengaruh pada panas hidrasi tertinggi. Secara singkat dapat dijelaskan reaksi hidrasi yang terjadi adalah sebagai berikut (Shetty, 2000) :



Dengan jumlah air yang sama reaksi C₃S menghasilkan kapur bebas (Ca(OH)₂) lebih dari dua kali lipat jumlahnya dibandingkan C₂S. Kapur bebas ini akan mengurangi kekuatan semen karena besar kemungkinannya larut dalam air dan menguap, sehingga beton menjadi porous.

3.1.2. Agregat

Agregat ialah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70 % volume beton. Walaupun namanya hanya sebagai bahan pengisi, akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat betonnya, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar/ beton. Dalam praktek, agregat umumnya digolongkan menjadi tiga kelompok, yaitu:

1. Batu untuk besar butiran lebih dari 40 mm.
2. Kerikil untuk besar butiran antara 5 mm dan 40 mm.
3. Pasir untuk besar butiran antara 0,15 mm dan 5 mm.

Agregat yang akan digunakan untuk bahan bangunan sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Butirannya tajam, kuat, dan bersudut.
2. Tidak mengandung tanah atau kotoran yang lewat ayakan 0,075.
3. Tidak mengandung garam yang menghisap air dan udara.
4. Tidak mengandung zat organik.
5. Mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik sehingga rongganya sedikit (untuk pasir modulus halus butirnya antara 1,50-3,80).
6. Bersifat kekal, tidak hancur atau berubah karena cuaca.
7. Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi, agregat harus mempunyai tingkat reaktif yang negatif terhadap alkali.
8. Untuk agregat kasar, tidak boleh mengandung butiran-butiran yang pipih dan panjang lebih dari 20% dari berat keseluruhan.

Agregat yang banyak digunakan untuk campuran beton adalah pasir dan kerikil karena pertimbangan ekonomis dan kemudahan pengerjaan. Sifat yang paling penting dari suatu agregat (batu-batuan, kerikil dan lain-lain) ialah kekuatan hancur dan ketahanannya terhadap benturan, yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap agresi kimia dan penyusutan.

Penggunaan bahan bangunan atau agregat pada adukan dimaksudkan untuk :

1. Penghematan penggunaan semen *Portland*.
2. Menghasilkan kekuatan besar pada beton.
3. Mengurangi susut pengerasan pada beton.

4. Mencapai susunan pampat betonnya dengan gradasi (variasi ukuran butir) yang baik dari agregatnya.
5. Mengontrol kemudahan (*workability*) adukan beton plastis dengan gradasi baik.

Agregat yang dapat digunakan sebagai bahan pengisi beton antara lain :

1. Batu pecah, ini merupakan butir-butir hasil pemecahan batu, butirnya berbentuk tajam, sehingga sedikit memperkuat betonnya.
2. Tanah liat bakar, tanah liat dengan kadar air tertentu dibuat berbutir sekitar 5-25 mm, kemudian dibakar. Hasil pembakaran tersebut berupa bola yang keras tetapi ringan dan berpori serta serapan airnya sebanyak 8-12%, beton dengan agregat ini berat jenisnya sekitar 1,9.
3. Lempung bekah, agregat ini sangat ringan, berat jenisnya 1,15. Beton dengan agregat ini mempunyai ketahanan tinggi terhadap panas dan mempunyai sifat meredam suara yang baik.
4. Agregat abu terbang, agregat ini adalah hasil dari pemanasan abu terbang sampai meleleh dan mengeras lagi, sehingga berbentuk butir-butir seperti kerikil.

3.1.3. Air

Air merupakan bahan yang penting dalam pembuatan campuran beton yang berpengaruh pada sifat mudah dikerjakan (*workability*), kekuatan susut, dan keawetan. Air yang digunakan dalam campuran beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, garam, zat organik atau bahan-bahan lain yang bersifat merusak beton dan baja tulangan. Hal ini penting dalam pemilihan air yang digunakan untuk campuran beton agar memenuhi syarat :

1. tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gram/ liter,
2. tidak mengandung garam yang dapat merusak beton atau asam dan zat organik lainnya tidak lebih dari 15 gram/liter,
3. tidak mengandung chlorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter,
4. tidak mengandung sulfat lebih dari 1 gram/liter.

Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen dan menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipampatkan. Kualitas air sangat mempengaruhi mutu beton. Air yang bebas dari lumpur, tidak mengandung garam, Chlorida dan senyawa sulfat sangat dianjurkan untuk digunakan.

3.2. Pozzoland

Pozzoland dapat dipakai sebagai bahan tambahan atau pengganti sebagian semen *Portland*. Bila dipakai sebagai pengganti sebagian semen *Portland*, umumnya berkisar 10 sampai 35 persen dari berat semen. Sedangkan sebagai bahan tambah, *pozzoland* akan menjadikan beton lebih mudah diaduk, lebih rapat air, dan lebih tahan terhadap serangan kimia.

Beberapa *pozzoland* dapat mengurangi pemuaian beton yang terjadi akibat proses reaksi alkali-agregat (reaksi alkali dalam semen dengan silika dalam agregat). Dengan demikian mengurangi retak-retak beton akibat reaksi tersebut. Pada pembuatan beton massa (*mass concrete*), misalnya dam, pemakaian *pozzoland* sangat menguntungkan, karena menghemat semen dan mengurangi panas hidrasi. Panas hidrasi pada beton massa dapat mengakibatkan retakan yang serius.

Pozzoland didefinisikan sebagai material yang mengandung silika dan/atau alumina, dalam bentuk yang halus. Umumnya *pozzoland* memiliki kandungan silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) yang tinggi dan unsur ini diharapkan bereaksi dengan kapur bebas (Ca(OH)_2). Secara singkat reaksi yang diharapkan adalah sebagai berikut :



3.3. Abu Serabut Kelapa (ASK)

Serabut kelapa ini digunakan sebagai bahan bakar memasak dalam usaha kecil pembuatan roti, bahan bakar pembuatan genteng, dan batu bata yang dilakukan secara tradisional di desa-desa. Abu serabut kelapa sebagai limbah buangan, sebenarnya memiliki unsur yang bermanfaat untuk peningkatan mutu beton.

Seiring dengan semakin meningkatnya pemakaian bahan-bahan tambah (*additive*) untuk beton, maka teknologi sederhana ini dapat dijadikan sebagai alternatif yang murah dan tepat guna. Pemanfaatan limbah untuk bahan konstruksi disamping akan memberikan penyelesaian permasalahan terhadap lingkungan juga akan meningkatkan mutu bahan konstruksi. Satu hal yang merupakan nilai tambah, nilai guna limbah, serta menciptakan lapangan pekerjaan dan mengurangi dampak negatif.

Pada umumnya limbah Abu Serabut Kelapa (ASK) terdiri dari unsur organik seperti serat, *cellulose*, dan *lignin*. Disamping itu limbah ini juga mengandung mineral yang terdiri dari silika, alumina, dan oksida-oksida besi. SiO_2 dalam abu serabut kelapa merupakan hal yang paling penting, karena dapat bereaksi dengan kapur (Ca(OH)_2) dan Air (H_2O). Hasil utama dari proses di atas ialah $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ atau C-S-H yang biasa disebut *tobermorite*, berbentuk

gel (*gelatine*) yang dapat mengkristal.

Dari pengujian Abu Serabut Kelapa (ASK) yang telah dilakukan di BBTKL (Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan), diperoleh hasil komposisi senyawa ASK (dalam satuan persen berat) yang terdiri atas unsur SiO_2 sebanyak 47,55%; Al_2O_3 1,05%; MgO 2,65%; dan kadar air 5,29%.

3.4. Bahan Kimia tambahan

Bahan kimia tambahan (*chemical admixture*) ialah bahan kimia (berupa bubuk atau cairan) yang dicampurkan pada adukan beton selama pengadukan dalam jumlah tertentu untuk mengubah beberapa sifatnya. Bahan kimia tambahan dapat dibedakan menjadi 5 jenis :

1. Bahan kimia tambahan untuk mengurangi jumlah air yang dipakai. Dengan pemakaian bahan ini diperoleh adukan dengan faktor air semen lebih rendah pada nilai kekentalan adukan yang sama, atau diperoleh kekentalan adukan lebih encer pada faktor air semen sama.
2. Bahan kimia tambahan untuk memperlambat proses ikatan beton. Bahan ini digunakan misalnya pada suatu kasus dimana jarak antara tempat pengadukan beton dan tempat penuangan adukan cukup jauh, sehingga selisih waktu antara mulai pencampuran dan pemadatan lebih dari 1 jam.
3. Bahan kimia tambahan untuk mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton. Bahan ini digunakan jika penuangan adukan dilakukan di bawah permukaan air, atau pada struktur beton yang memerlukan waktu penyelesaian segera, misalnya perbaikan landasan pacu pesawat udara, balok prategang jembatan, dan sebagainya.
4. Bahan kimia tambahan yang berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi air dan memperlambat proses ikatan.
5. Bahan kimia tambahan yang berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton.

Selain 5 jenis di atas, ada 2 jenis lain yang lebih khusus, yaitu :

1. Bahan kimia tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran sampai sebesar 10 % atau bahkan lebih, untuk menghasilkan adukan beton dengan kekentalan sama (air dikurangi sampai 10 % lebih, namun adukan beton tidak bertambah kental).
2. Bahan kimia tambahan dengan fungsi ganda, yaitu mengurangi air sampai 10% atau lebih dan memperlambat waktu pengikatan.

3.5. Sikament-LN

Sikament-LN adalah jenis bahan tambah kimia untuk pengurang kadar air (*water reducer*) dan pemercepat waktu ikat (*accelerator*) yang diproduksi oleh PT. Sika Nusa Pratama Indonesia. Sesuai dengan namanya (*water reducer*), *admixture* jenis ini berguna untuk mengurangi air campuran tanpa mengurangi *workability*. *Admixture* ini juga dapat mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton yang memerlukan waktu penyelesaian segera atau sebagai *accelerator*.

3.6. Faktor Air Semen

Faktor air semen (FAS) adalah perbandingan antara berat air dan berat semen di dalam campuran beton, semakin rendah nilai faktor air semen (FAS), maka semakin tinggi kekuatan tekan betonnya.

Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai hingga menyebabkan beton berkurang kekuatannya. Berikut ini adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara faktor air semen (FAS) dengan kuat tekan beton.

Duff Abrams mengusulkan menggunakan faktor air semen (FAS) dengan kuat tekan beton secara umum sebagai berikut :

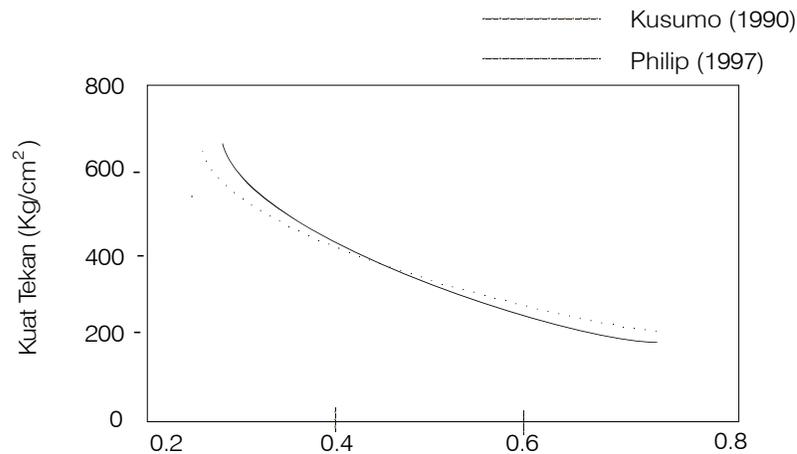
$$f'c = \frac{A}{B^{1,5x}}$$

Dengan $f'c$ = Kuat tekan beton pada umur tertentu (MPa)

X = Faktor Air Semen

A,B = Konstanta

Dari rumus di atas tampak bahwa semakin rendah nilai FAS, semakin tinggi kuat tekan betonnya. Tetapi jika FAS terlalu rendah maka adukan beton sulit dipadatkan, sehingga kuat tekan betonnya semakin rendah.



Gambar 1. Hubungan Antara FAS dengan Kuat Tekan Beton

3.7. Metode Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan beton pada penelitian ini meliputi perencanaan beton normal dengan metode berdasarkan pada standar dari SK SNI T-15 - 1990 – 03 (Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal).

Perencanaan adukan dimaksudkan untuk mendapatkan beton yang sebaik-baiknya dengan berdasarkan pada :

1. Kuat tekan beban
2. Mudah dikerjakan
3. Tahan lama
4. Murah dan tahan aus

3.8. Nilai Slump

Bila beton tidak dipadatkan secara sempurna, sejumlah gelembung udara dimungkinkan terperangkap dan mengakibatkan rongga lebih banyak lagi. Beton dengan jumlah volume minimal adalah yang terpadat dan terkuat, yaitu dengan menggunakan jumlah air yang minimal konsisten dengan derajat *workability* yang dibutuhkan untuk memberikan kepadatan maksimal.

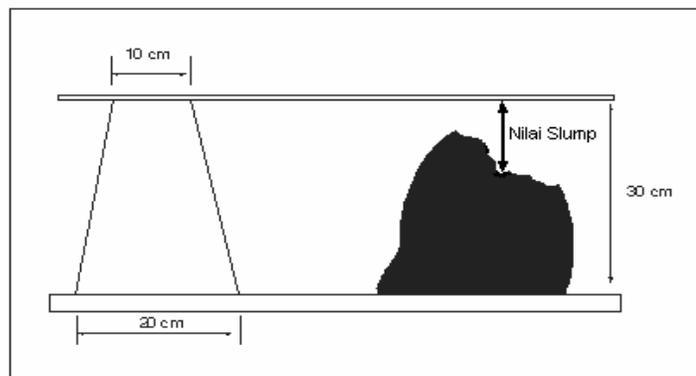
Workability merupakan ukuran dari tingkat kemudahan beton segar untuk diaduk, disalurkan, dituang, dipadatkan, dan dirapikan. Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat *workability* adalah :

1. jumlah air yang dipakai dalam campuran adukan beton. Semakin banyak air yang dipakai semakin mudah adukan beton dikerjakan,
2. penambahan semen ke dalam campuran juga memudahkan cara pengerjaan adukan betonnya, karena diikuti dengan bertambahnya air campuran untuk memperoleh nilai FAS tetap,
3. gradasi campuran pasir dan kerikil. Bila campuran pasir dan kerikil mengikuti gradasi yang telah disarankan maka adukan beton akan mudah dikerjakan,
4. pemakaian butir-butir batuan mempermudah cara pengerjaan beton,
5. pemakaian butir maksimum kerikil yang dipakai juga berpengaruh terhadap tingkat kemudahan dikerjakan,
6. cara pemadatan adukan beton menentukan sifat pengerjaan yang berbeda, bila pemadatnya dilakukan dengan cara menggunakan alat getar maka tingkat kelacakannya juga berbeda, sehingga diperlukan jumlah air yang lebih sedikit dibandingkan bila dipadatkan dengan tangan.

Untuk mengetahui tingkat *workability* (kemudahan dalam pengerjaan) beton, biasanya dilakukan pengujian *slump*. Pemeriksaan *slump* sdilakukan terhadap beton yang masih segar. Makin besar nilai *slump* makin encer adukan beton tersebut. Percobaan *slump* menggunakan alat-alat sebagai berikut.

1. Corong baja berbentuk konus berlubang pada kedua ujungnya. Bagian bawah berdiameter 20 cm dan bagian atas berdiameter 10 cm dengan tinggi 30 cm.
2. Tongkat baja berdiameter 16 mm, panjang 60 cm dengan bagian ujung dibulatkan.

Skema pelaksanaan pengujian *slump* terhadap adukan beton segar dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengujian *slump*

Untuk mencegah pengadukan adukan beton yang terlalu kental atau terlalu encer, dianjurkan menggunakan nilai *slump* yang terletak pada batas-batas yang diajukan seperti pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Nilai *slump* untuk berbagai macam pekerjaan

Pemakaian Beton (berdasarkan jenis struktur yang dibuat)	<i>Slump</i> (cm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, plat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tidak bertulang, kaison dan konstruksi bawah tanah	9,0	2,5
Plat , balok, kolom dan dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan missal (Beton massa)	7,5	2,5

Nilai *slump* adalah besar penurunan permukaan adukan beton segar pada percobaan *slump* sesuai dengan prosedur yang ada. Percobaan *slump* adalah suatu cara untuk mengukur kelecakan adukan beton segar, yang dipakai pula untuk memperkirakan tingkat kemudahan dalam pengerjaannya.

Nilai *slump* juga dipengaruhi oleh faktor air semen (FAS). Semakin tinggi faktor air semen (FAS) maka nilai *slump* akan semakin tinggi yakni pemakaian banyak air sedikit semen, sehingga pasta semen encer mengakibatkan adukan mempunyai nilai *slump* lebih tinggi.

Karena pentingnya nilai *slump* yang dipakai sebagai petunjuk dari tingkat *workability* adukan beton, maka pada waktu pengujian *slump* harus dilakukan dengan hati-hati dan cermat, serta menggunakan prosedur yang ada agar diperoleh data nilai *slump* yang akurat dari setiap pengujian yang dilaksanakan.

3.9. Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji yang dilakukan adalah perawatan basah, yaitu dengan merendam benda uji pada kolam/bak perendaman yang berisi air tawar sampai umur beton mencapai 28 hari. Setelah umur perawatan cukup (sesuai dengan umur beton) benda uji kemudian diuji.

3.10. Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton normal dilakukan pada umur 28 hari pada masing - masing benda uji. Pengujian dilakukan dengan mesin uji tekan, kemudian benda uji ditekan searah dengan tinggi silinder beton sampai benda uji tersebut pecah dan jarum petunjuk tidak naik lagi.

Kuat tekan benda uji dapat diperoleh dengan rumus :

$$f'c = \frac{P}{A}$$

dengan :

$f'c$ = Kuat tekan beton pada umur tertentu (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas bidang tekan beton atau luas penampang (mm^2)

Kekuatan tekan rata-rata beton (f_{cr}) dapat diperoleh berdasarkan persamaan sebagai berikut

:

$$f_{cr} = \frac{\sum_1^n fc}{n}$$

dengan :

fc = Kuat tekan beton.

n = Banyaknya benda uji.

Devisiasi standar sangat mempengaruhi mencari nilai kuat tekan rata-rata. Devisiasi standar ditentukan berdasarkan tingkat mutu pelaksanaan di lapangan. Makin baik mutu pelaksanaannya (pengujian, pengawasan, dan peralatan), makin kecil nilai devisiasi standar yang ditetapkan atau sebaliknya. Devisiasi standar dihitung dengan persamaan :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_1^n (fc - f'crt)^2}{n-1}}$$

Dengan : $f'c$ = Kuat tekan beton pada umur tertentu (MPa)

$f'crt$ = Kuat tekan rata-rata (MPa)

n = Jumlah benda uji

Kuat tekan rata-rata yang direncanakan dihitung dengan persamaan :

$$f'crt = f'c + m$$

dengan : $f'crt$ = Kuat tekan beton rata-rata (MPa)

$f'c$ = Kuat tekan beton pada umur tertentu (MPa)

m = Nilai tambah = $K \cdot S$

$K = 1,64$

$S =$ Devisiasi standar

Sebagai gambaran bagaimana cara menilai tingkat pengendalian mutu beton, disini diberikan pedoman yang biasa dipakai di Inggris yaitu dilakukan dengan Tabel 3 sebagai berikut :

Tabel 3. Nilai devisiasi standar untuk berbagai tingkat pengendalian mutu pekerjaan

Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	Devisiasi Standar (MPa)
Memuaskan	2,8
Sangat baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tanpa kendali	8,4

Tabel 4. Faktor Pengali Untuk Devisiasi Standar bila data hasil uji yang tersedia kurang dari 30

Jumlah Benda Uji	Faktor Pengali Devisiasi Standar
Kurang dari 15	Lihat ayat 3.2.1 butir 1 sub butir 5
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

4. METODE PENELITIAN

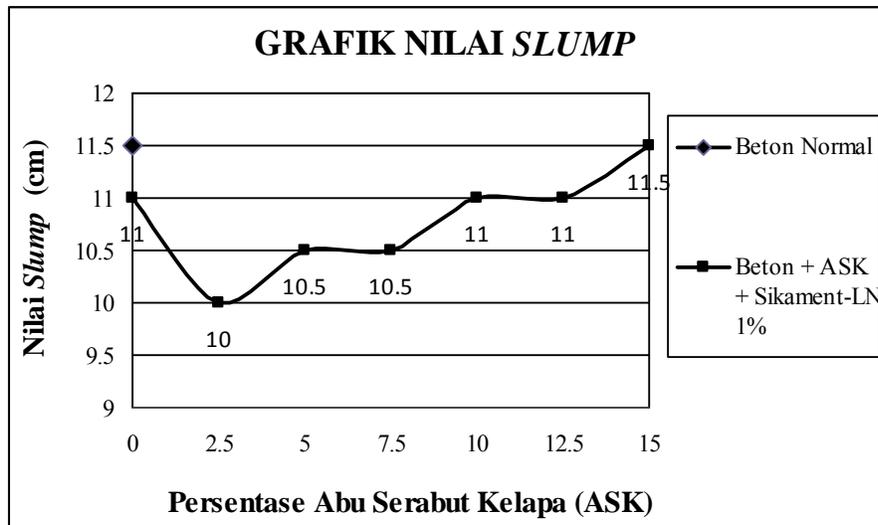
Pelaksanaan penelitian ini diawali dengan persiapan bahan dan alat-alat, dilanjutkan dengan pengujian bahan. Setelah bahan yang telah diuji memenuhi syarat dilanjutkan dengan perhitungan campuran beton untuk memperoleh kebutuhan masing-masing bahan adukan.

Sebelum adukan dituang ke dalam cetakan yang berbentuk silinder, terlebih dahulu diuji kekentalannya dengan *slump test*. Silinder beton dilepas setelah benda uji berumur 24 jam dan direndam dalam air selama 27 hari. Benda uji dites pada umur 28 hari.

5. HASIL PENELITIAN

5.1. *Workability*

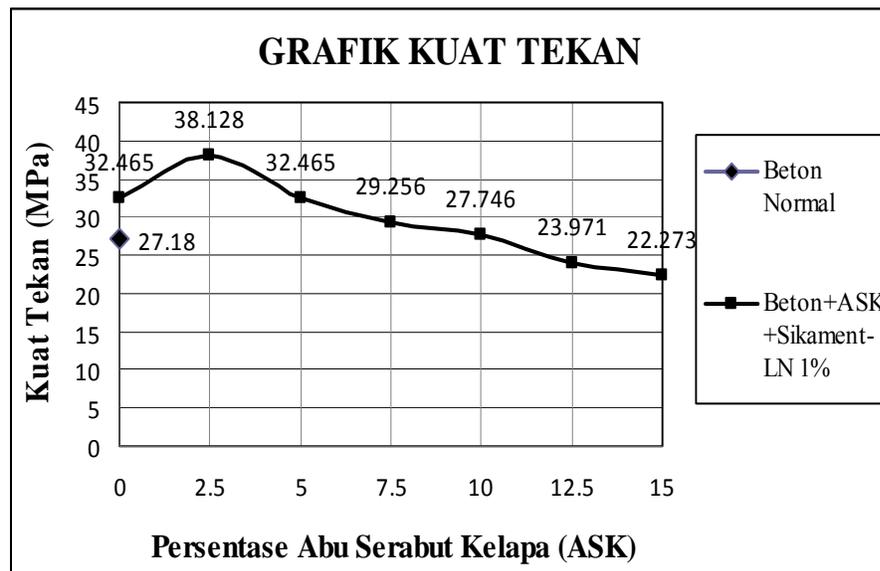
Pengujian *slump* dilaksanakan pada saat beton masih dalam keadaan segar untuk mengetahui tingkat kelecakan adukan yang berpengaruh pada kemudahan pengerjaan (*workability*) pada saat beton dipadatkan. Nilai *slump* yang direncanakan untuk beton normal yaitu 60 - 180 mm. Dari hasil penelitian diperoleh nilai rerata *slump* beton normal sebesar 115 mm, yang berarti nilai *slump* tersebut masih berada dalam batas yang telah ditetapkan. Sedangkan nilai *slump* untuk beton yang menggunakan Abu Serabut Kelapa (ASK) sebagai pengganti sebagian semen dan *Sikament-LN* 1%, serta pengurangan air sebesar 10% tidak mengalami perubahan yang berarti atau masih dalam batas nilai *slump* pada perencanaan awal. Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Nilai *slump* beton normal dengan beton menggunakan Abu Serabut Kelapa (ASK) sebagai pengganti sebagian semen, *Sikament-LN* 1%, dan pengurangan air 10%.

5.2. Kuat tekan beton

Hasil kuat tekan rata-rata beton normal sebesar 27,18 MPa, sedangkan kuat beton normal yang ditargetkan sebesar 20 MPa. Kuat tekan beton yang menggunakan Abu Serabut Kelapa (ASK) sebagai pengganti sebagian semen dan *Sikament-LN* 1%, serta pengurangan air sebesar 10% cenderung mengalami peningkatan kuat tekannya dibandingkan beton normal pada persentase pemakaian Abu Serabut Kelapa (ASK) sebesar 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%, sedangkan pada persentase pemakaian Abu Serabut Kelapa (ASK) sebesar 12,5% dan 15% sebagai pengganti sebagian semen dan *Sikament-LN* 1%, serta pengurangan air sebesar 10% kuat tekannya lebih rendah dibandingkan dengan beton normal. Kuat tekan tertinggi dicapai pada persentase pemakaian Abu Serabut Kelapa (ASK) sebesar 2,5% sebagai pengganti sebagian semen yaitu sebesar 38,128 MPa. Grafik kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kuat tekan beton normal dengan beton menggunakan Abu Serabut Kelapa (ASK) sebagai pengganti sebagian semen, *Sikament-LN* 1%, dan pengurangan air 10%.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang Pemanfaatan Abu Serabut Kelapa (ASK) sebagai Pengganti Sebagian Semen dengan Bahan Tambah *Sikament-LN* untuk meningkatkan Kuat Tekan Beton, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Nilai *slump* tidak mengalami perubahan yang berarti.
2. Kuat tekan beton mengalami peningkatan dibandingkan dengan beton normal sampai dengan persentase pemakaian Abu Serabut Kelapa (ASK) sebesar 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%, *Sikament-LN* 1%, serta pengurangan air sebesar 10%.
3. Kuat tekan beton maksimum sebesar 38,128 MPa dicapai pada pemakaian Abu Serabut Kelapa (ASK) sebagai pengganti sebagian semen sebesar 2,5% dan *Sikament-LN* 1%, serta pengurangan air sebesar 10%.
4. Beton mengalami penurunan kuat tekan dibandingkan dengan beton normal pada penggunaan Abu Serabut Kelapa (ASK) sebagai pengganti sebagian semen sebesar 12,5% dan 15%, serta *Sikament-LN* 1% dan pengurangan air sebesar 10%.

6.2. Saran

Untuk memperoleh pengetahuan yang lebih mendalam mengenai pemanfaatan Abu Serabut Kelapa (ASK) sebagai pengganti sebagian semen dengan bahan tambah *Sikament-LN* untuk meningkatkan kuat tekan perlu diadakan penelitian lebih lanjut, sebagai berikut:

1. Dilakukan penelitian menggunakan FAS yang berbeda.
2. Penelitian menggunakan Abu Serabut Kelapa (ASK) dengan interval 1%.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI 1971)*, Departemen Pekerjaan Umum.
2. Anonim, (1990). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SK SNI T – 15 – 1990 – 03)*, DPU Yayasan LPMB, Bandung.
3. Kardiyono, T., (1992). *Buku Ajar Teknologi Beton, Universitas Gajah Mada*, Yogyakarta.
4. Murdock, L.J., Brook, K.M., (1986). *Bahan dan Praktek Beton*, Erlangga, Jakarta.
5. Nawy, E.G., (1990). *Beton Bertulang*, PT. Eresco, Bandung.

6. Nevil, A.M., (1995). *Properties of Concrete (Fourth and Final Edition)*, Longman Group Limited, England.
7. Nugraha, P., (1989). *Teknologi Beton*, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
8. Shetty, M.S., (1992). *Concrete Technology (Theory and Practice)*, Ram Nagar, New Delhi.

PERHITUNGAN DEBIT PADA SISTEM JARINGAN PIPA DENGAN METODA HARDY-CROSS MENGGUNAKAN RUMUS HASEN-WILLIAMS DAN RUMUS MANNING

Kanjalia Rusli¹, Agus Susanto²

¹ Dosen tetap Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha, Bandung

² Alumnus Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha, Bandung

ABSTRAK

Pemakaian jaringan pipa dalam bidang teknik sipil salah satunya terdapat pada sistem jaringan distribusi air minum. Analisis jaringan pipa cukup kompleks dan memerlukan perhitungan yang besar. Adapun metoda yang digunakan adalah Metoda Hardy-Cross dalam menentukan debit pada masing-masing pipa. Metoda ini merupakan metoda yang paling banyak digunakan dalam melakukan analisis jaringan pipa. Dalam perhitungan ini digunakan rumus Hazen-Williams dan rumus Manning dalam menentukan nilai koefisien hambatan pipa (k).

Akan dianalisis sebagian jaringan pipa PDAM di Kota Padalarang Kabupaten Bandung. Debit masuk pada jaringan ditentukan 30 lt/det dan 10 lt/det sedangkan debit yang keluar 25 lt/det dan 15 lt/det, koefisien Hazen-Williams 142 dan koefisien Manning 0.011, menggunakan pipa PVC berdiameter 2" dan 3", kehilangan energi yang diperhitungkan hanya kehilangan energi primer. Kesimpulan yang diperoleh adalah penggunaan diameter pipa yang sama pada jaringan pipa akan menghasilkan debit tetap (tidak berubah), karena diameter pipa dapat saling meniadakan dalam perhitungan dan pada kasus yang debitnya besar (>10 lt/det) akan menghasilkan persentase perbedaan debit ($\Delta\%$) yang tidak jauh baik dengan rumus Hazen-Williams dan rumus Manning karena persentase perbedaan debitnya kecil sehingga untuk debit yang besar (>10 lt/det) hasil lebih akurat, begitu pula sebaliknya.

Kata kunci: jaringan pipa, debit pada pipa, metoda Hardy-Cross

1. PENDAHULUAN

Di era pembangunan yang semakin pesat, pembangunan jaringan-jaringan pipa lebih banyak digunakan dalam berbagai keperluan. Hal ini karena pipa mempunyai kelebihan dibanding dengan sarana lain (saluran terbuka, pengangkutan dengan sarana transportasi), antara lain: jumlah kehilangan volume fluida lebih kecil, waktu penghantaran fluida lebih cepat dan tak terputus, fluida lebih terlindungi.

Melihat perkembangan yang semakin meningkat, kebutuhan terhadap air juga meningkat pada suatu komunitas yang besar. Kebutuhan akan air pada masing-masing keluarga berbeda-beda, sehingga dibutuhkan suatu sistem pendistribusian air yang baik. Jaringan pipa harus direncanakan sedemikian rupa sehingga debit yang dikeluarkan sesuai dengan permintaan. Kesalahan dalam perencanaan dan penghitungan dapat berakibat permintaan tidak terpenuhi.

Nilai konstanta hambatan pipa (k) pada Metoda Hardy-Cross di suatu jaringan pipa merupakan angka yang bergantung pada rumus gesekan pipa dan karakteristik pipa. Diperkirakan bahwa nilai konstanta hambatan pipa (k) ini juga menentukan dalam

pembuatan jaringan-jaringan pipa.

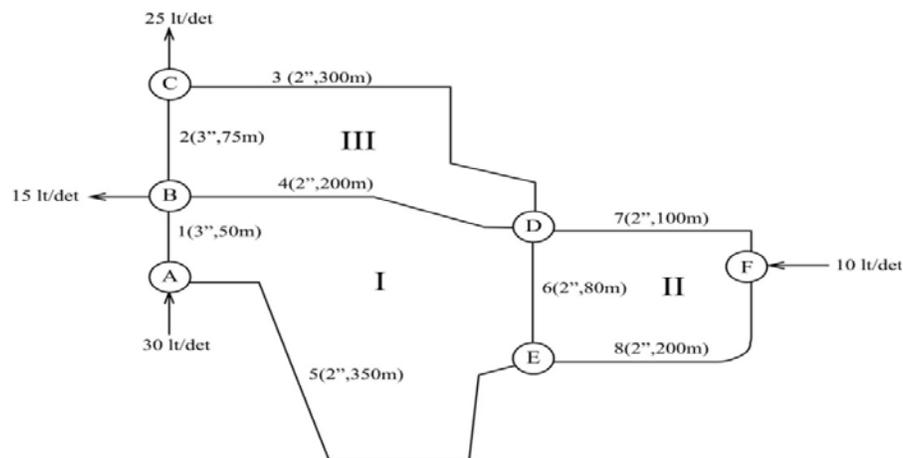
Besarnya debit air pada masing-masing pipa dengan Metoda Hardy-Cross dalam suatu jaringan pipa tertentu juga untuk menentukan nilai debit optimum pada masing-masing pipa dalam suatu jaringan pipa.

Analisis sebagian jaringan pipa PDAM di Kota Padalarang dengan Metoda Hardy-Cross menggunakan rumus Hazel-Williams dan rumus Manning dalam perhitungan konstanta hambatan pipa (k) dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut:

- Kehilangan energi yang diperhitungkan hanya kehilangan energi primer, sedangkan kehilangan energi sekunder tidak diperhitungkan.
- Diameter pipa PVC yang digunakan adalah 2" dan 3".
- Koefisien Hazel-Williams (C_{HW}) = 142.
- Koefisien Manning (n') = 0,011.
- Debit masuk (Q_{masuk}) = 30 lt/det dan 10 lt/det.
- Debit keluar (Q_{keluar}) = 15 lt/det dan 25 lt/det.

2. JARINGAN PIPA

Sistem jaringan pipa yang akan dibahas adalah sebagian dari sistem jaringan pipa yang mengacu pada jaringan pipa distribusi air minum PDAM di Kota Padalarang, Bandung. Sistem jaringan pipa tersebut terdiri dari 6 titik simpul (nodal), 8 pipa dan 3 jaringan (loop). Bentuk jaringan pipa yang diambil adalah seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Sebagian Jaringan PDAM di Kota Padalarang.

Adapun data dari sebagian jaringan pipa PDAM di Kota Padalarang adalah seperti terlihat di bawah ini:

Tabel 1.

Pipa	Panjang (m)	Kasus 1	Kasus 2	Kasus 3	Kasus 4	Kasus 5
		Diameter (in)	Diameter (in)	Diameter (in)	Diameter (in)	Diameter (in)
1 (AB)	50	3	2	3	2	3
2 (BC)	75	3	2	3	2	3
3 (CD)	300	2	2	3	3	2
4 (BD)	200	2	2	3	3	2
5 (AE)	350	2	2	3	3	2
6 (DE)	80	2	2	3	2	3
7 (DF)	100	2	2	3	2	3
8 (EF)	200	2	2	3	3	2

- Koefisien Hazen-Williams (C_{HW}) = 142 dan koefisien Manning (n) = 0,011.
- Debit air yang masuk berasal dari 2 titik, yaitu: titik A sebesar 30 lt/det dan titik F sebesar 10 lt/det.
- Debit air yang keluar dari 2 titik, yaitu: titik B sebesar 15 lt/det dan titik C sebesar 25 lt/det.
- Kehilangan energi yang diperhitungkan hanya kehilangan energi primer, sedangkan kehilangan energi sekunder tidak diperhitungkan.

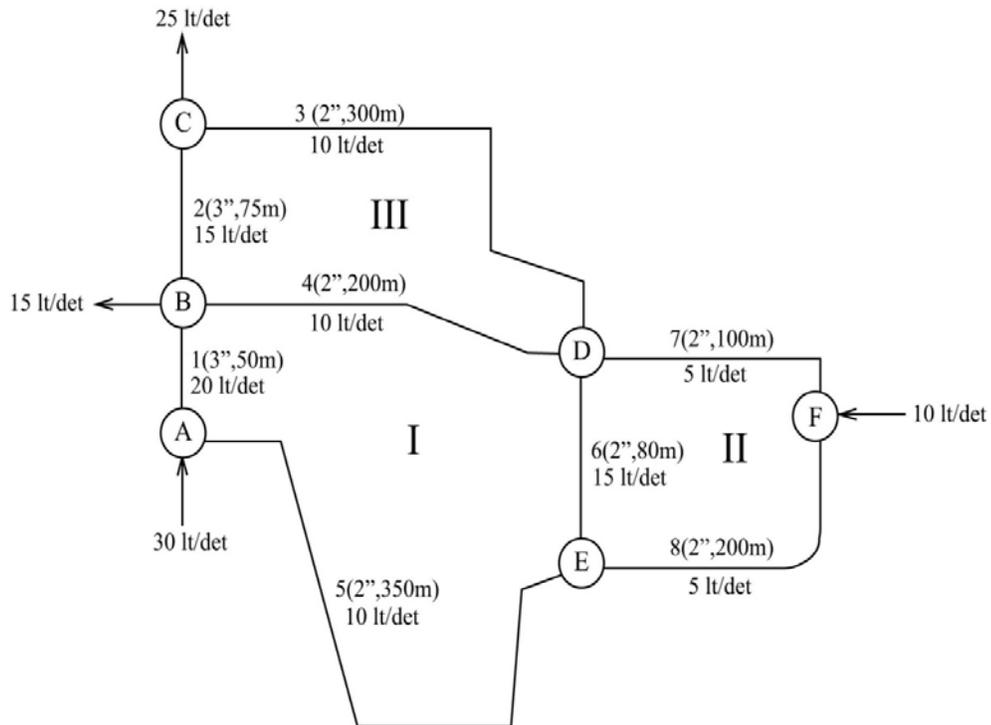
3. PENGOLAHAN DATA

Data-data tersebut di atas dapat dihitung menggunakan Metoda Hardy-Cross dengan rumus Hazel-Williams dan rumus Manning. Dalam kasus-kasus di atas pemilihan debit terkaan awal (Q_0) dipilih dengan nilai yang selalu sama untuk semua kasus, yaitu sebagai berikut:

- Titik A: Pipa 1 (AB) keluar 20 lt/det, pipa 5 (AE) keluar 10 lt/det dan debit masuk 30 lt/det.
- Titik B: Pipa 1 (AB) masuk 20 lt/det, pipa 2 (BC) keluar 15 lt/det, pipa 4 (BD) masuk 10 lt/det dan debit keluar 15 lt/det.
- Titik C: Pipa 2 (BC) masuk 15 lt/det, pipa 3 (CD) masuk 10 lt/det dan debit keluar 25 lt/det.
- Titik D: Pipa 3 (CD) keluar 10 lt/det, pipa 4 (BD) keluar 10 lt/det, pipa 6 (DE) masuk 15 lt/det dan pipa 7 (DF) masuk 5 lt/det.

- Titik E: Pipa 5 (AE) masuk 10 lt/det, pipa 6 (DE) keluar 15 lt/det dan pipa 8 (EF) masuk 5 lt/det.
- Titik F: Pipa 7 (DF) keluar 5 lt/det, pipa 8 (EF) keluar 5 lt/det dan debit masuk 10 lt/det.

Metoda Hardy-Cross yang dibantu oleh program komputer *Microsoft Excel* akan terus mengulang (iterasi) debit dengan koreksi debit pada masing-masing pendekatan sehingga mendapatkan debit-debit yang merupakan debit optimum dari tiap-tiap ruas jaringan pipa. Pada tabel-tabel di halaman berikut dapat dilihat hasil Metoda Hardy-Cross yang menghasilkan debit optimum pada masing-masing kasus.



Gambar 2. Kasus 1.

Tabel 2. Syarat Kontinuitas.

Interaksi Awal											
Titik Nodal	Q_{masuk} (l/det)	Debit pada Pipa (l/det)								Q_{eluar} (l/det)	Kontinuitas
		1 (AB)	2 (BC)	3 (CD)	4 (BD)	5 (AE)	6 (DE)	7 (DF)	8 (EF)		
A	30	-20				-10					0
B		20	-15	10						-15	0
C			15	10						-25	0
D				-10	-10	15	5				0
E					10	-15		5			0
F	10						-5	-5			0

4. PERHITUNGAN KONSTANTA HAMBATAN HARDY-CROSS (k)

Rumus Hasen-Williams:

$$k = \frac{10,68L}{C_{HW}^{1,852} D^{4,87}}$$

Kasus 1:

Contoh Pipa 1 (AB)

$$C_{HW} = 142$$

$$L = 50\text{m}$$

$$D = 3 \text{ in}$$

$$k = \frac{10,68 \times 50}{142^{1,852} \times \left(3 \times \frac{2,54}{100}\right)^{4,87}} = 15359,69$$

Nilai k untuk pipa-pipa lainnya dapat dihitung dengan cara yang sama dengan diatas.

Rumus Manning

$$k = \frac{10,29n^2 L}{D^{16/3}}$$

Kasus 1:

Contoh Pipa 1 (AB)

$$n^2 = 0,011$$

$$L = 50\text{m}$$

$$D = 3 \text{ in}$$

$$k = \frac{10,29 \times 0,011^2 \times 50}{\left(3 \times \frac{2,54}{100}\right)^{16/3}} = 57158,07$$

Nilai k untuk pipa-pipa lainnya dapat dihitung dengan cara yang sama dengan diatas

5. PERHITUNGAN DEBIT PADA MASING-MASING PIPA DENGAN METODA HARDY-CROSS

Rumus umum metode Hardy-Cross:

$$\Delta Q = \frac{\sum kQ_0^n}{\sum |nkQ_0^{n-1}|} \leq 5\%Q_{\text{terkecil}}$$

Rumus Hasen-Williams:

$$n = 1,852$$

$$\Delta Q = \frac{\sum k Q_0^{1,852}}{\sum |1,852 k Q_0^{0,852}|} \leq 5\% Q_{\text{terkecil}}$$

Contoh perhitungan kasus 1:

Iterasi I

Tabel 3.

Jaringan I					
Pipa	Arah	k	Q ₀	K Q ₀ ^{1,852}	1,852 k Q ₀ ^{0,852}
1(AB)	+	15359,69	20,00	3943574,82	365175,03
4(BD)	-	442595,46	10,00	-31477987,29	5829723,25
5(AE)	-	774542,06	10,00	-55086477,76	10202015,68
6(DE)	-	177038,18	15,00	-26680131,07	3294106,85
Σ				-109301021,31	19691020,81

$$\Delta Q = \frac{-109301021,31}{19691020,81} = -5,55 \text{ lt / det} \leq 5\% \times 5 = 0,25 \text{ lt / det} \dots \text{tidak Ok!}$$

Tabel 4.

Jaringan II					
Pipa	Arah	k	Q ₀	K Q ₀ ^{1,852}	1,852 k Q ₀ ^{0,852}
6(DE)	+	177038,18	15,00	26680131,07	3294106,85
7(DF)	-	221297,73	5,00	-4359828,52	1614880,48
8(EF)	+	442595,46	5,00	8719657,04	3229760,97
Σ				31039959,59	8138748,30

$$\Delta Q = \frac{31039959,59}{8138748,30} = 3,81 \text{ lt / det} \leq 5\% \times 5 = 0,25 \text{ lt / det} \dots \text{tidak Ok!}$$

Tabel 5.

Jaringan III					
Pipa	Arah	k	Q ₀	K Q ₀ ^{1,852}	1,852 k Q ₀ ^{0,852}
2(BC)	+	23039,54	15,00	3472120,62	428691,16
3(CD)	-	663893,19	10,00	-47216980,94	8744584,87
Σ				-12266873,03	15002999,28

$$\Delta Q = \frac{-12266873,03}{15002999,28} = -0,82 \text{ lt/det} \leq 5\% \times 5 = 0,25 \text{ lt/det} \dots \text{tidak Ok!}$$

Koreksi Debit Iterasi I:

Jaring I:

Pipa 1 (AB) = +20 + 5,55 = +25,55 lt/det

Pipa 4 (BD) = -10 + 5,55 = -4,45 lt/det

Pipa 5 (AE) = -10 + 5,55 = -4,55 lt/det

Pipa 6 (DE) = -15 + 5,55 = -9,45 lt/det

Jaring II:

Pipa 6 (DE) = +9,45 - 3,81 = +5,64 lt/det

Pipa 7 (DF) = -5 - 3,81 = -8,81 lt/det

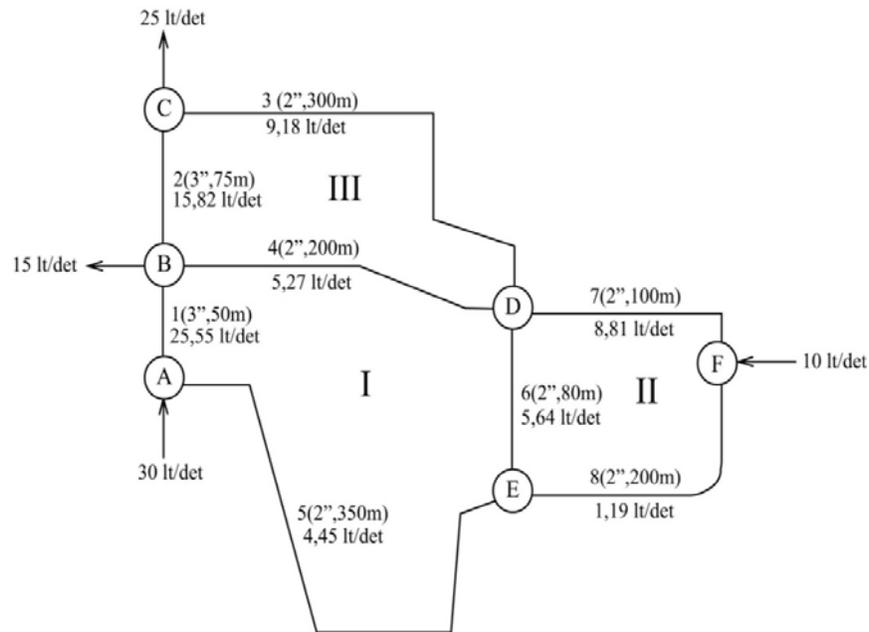
Pipa 8 (EF) = +5 - 3,81 = +1,19 lt/det

Jaring III:

Pipa 2 (BC) = +15 + 0,82 = +15,82 lt/det

Pipa 3 (CD) = -10 + 0,82 = -9,18 lt/det

Pipa 4 (BD) = +4,45 + 0,82 = +5,27 lt/det



Gambar 3.

Tabel 6. syarat Kontinuitas.

Interaksi I												
Titik Nodal	Q_{masuk} (lb/det)	Debit pada Pipa (lb/det)								Q_{eluar} (lb/det)	Kontinuitas	
		1 (AB)	2 (BC)	3 (CD)	4 (BD)	5 (AE)	6 (DE)	7 (DF)	8 (EF)			
A	30	-25,5				4,45					0	
B		25,55	-15,82		5,27						-15	0
C			15,82	9,18							-25	0
D				-9,18	-5,27			8,81				0
E					4,45	-5,64			1,19			0
F	10						-8,81	-1,19				0

Lanjutkan iterasi II, III, IV dan seterusnya sampai hasil perhitungan $\Delta Q \leq 5\%$ terhadap debit yang terkecil pada masing-masing jaring.

Hasil akhir dengan rumus Hazen-William untuk kasus 1, sebagai berikut:

Jaring I:

Pipa 1 (AB) = + 30,47 lt/det

Pipa 4 (BD) = - 4,52 lt/det

Pipa 5 (AE) = + 0,47 lt/det

Pipa 6 (DE) = - 3,26 lt/det

Jaring II:

Pipa 6 (DE) = + 3,26 lt/det

Pipa 7 (DE) = - 6,27 lt/det

Pipa 8 (EF) = +3,73 lt/det

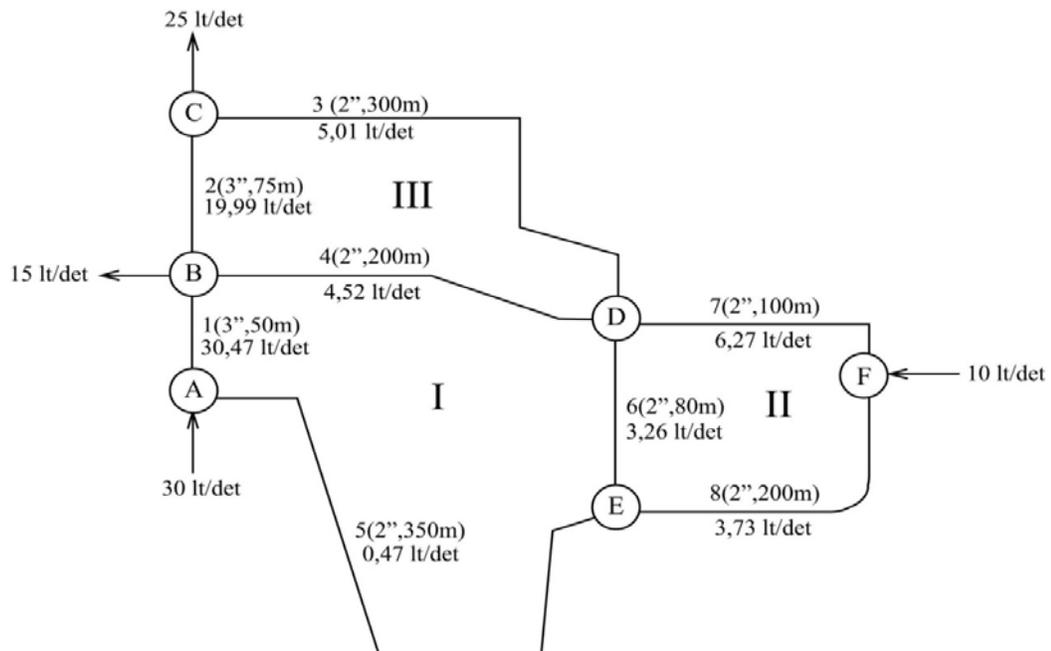
Jaring III:

Pipa 2 (BC) = +19,99 lt/det

Pipa 3 (CD) = -5,01 lt/det

Pipa 4 (BD) = +4,52 lt/det

Untuk kasus 2, 3, 4 dan 5 dapat dilakukan dengan cara yang sama dengan kasus 1.



Gambar 4.

Tabel 7. Syarat Kontinuitas.

Interaksi Akhir											
Titik Nodal	Q _{masuk} (l/det)	Debit pada Pipa (l/det)								Q _{keluar} (l/det)	Kontinuitas
		1 (AB)	2 (BC)	3 (CD)	4 (BD)	5 (AE)	6 (DE)	7 (DF)	8 (EF)		
A	30	-30,47				0,47					0
B		30,47	-19,99		4,52					-15	0
C			19,99	5,01						-25	0
D				-5,01	-4,52			3,26	6,27		0
E					-0,47		-3,26			3,73	0
F	10							-6,27	-3,73		0

Rumus Manning

$$n = 2$$

$$\Delta Q = \frac{\sum k Q_0^2}{\sum |2k Q_0|} \leq 5\% Q_{\text{terkecil}}$$

Contoh perhitungan kasus 1

Iterasi I

Tabel 8.

Jaringan I					
Pipa	Arah	k	Q ₀	K Q ₀ ²	2 k Q ₀
1(AB)	+	57158,07	20,00	22863228,68	2286322,87
4(BD)	-	1987425,88	10,00	-198742588,48	39748517,70
5(AE)	-	3477995,30	10,00	-347799529,84	69559905,97
6(DE)	-	794970,35	15,00	-178868329,63	23849110,62
Σ				-702547219,27	135443857,15

$$\Delta Q = \frac{-702547219,27}{135443857,15} = -5,19 \text{ lt / det} \leq 5\% \times 5 = 0,25 \text{ lt / det} \dots \text{tidak Ok!}$$

Tabel 9.

Jaringan II					
Pipa	Arah	k	Q ₀	K Q ₀ ²	2 k Q ₀
6(DE)	+	794970,35	15,00	178868329,63	23849110,62
7(DF)	-	993712,94	5,00	-24842823,56	9937129,42
8(EF)	+	1987425,88	5,00	49685647,12	19874258,85
Σ				203711153,19	53660498,89

$$\Delta Q = \frac{203711153,19}{53660498,85} = 3,80 \text{ lt / det} \leq 5\% \times 5 = 0,25 \text{ lt / det} \dots \text{tidak Ok!}$$

Tabel 10.

Jaringan III					
Pipa	Arah	k	Q ₀	K Q ₀ ²	2 k Q ₀
2(BC)	+	85737,11	15,00	19290849,20	2572113,23
3(CD)	-	2981138,83	10,00	-298113882,72	59622776,54
4(BD)	+	1987425,88	10,00	198742588,48	39748517,70
Σ				-80080445,04	101943407,47

$$\Delta Q = \frac{-80080445,04}{101943407,47} = -0,79 \text{ lt/det} \leq 5\% \times 5 = 0,25 \text{ lt/det} \dots \text{tidak Ok!}$$

Koreksi Debit Iterasi I:

Jaring I:

Pipa 1 (AB) = +20 + 5,19 = +25,19 lt/det

Pipa 4 (BD) = -10 + 5,19 = -4,81 lt/det

Pipa 5 (AE) = -10 + 5,19 = -4,81 lt/det

Pipa 6 (DE) = -15 + 5,19 = -9,81 lt/det

Jaring II:

Pipa 6 (DE) = +9,81 - 3,80 = +6,01 lt/det

Pipa 7 (DF) = -5 - 3,80 = -8,80 lt/det

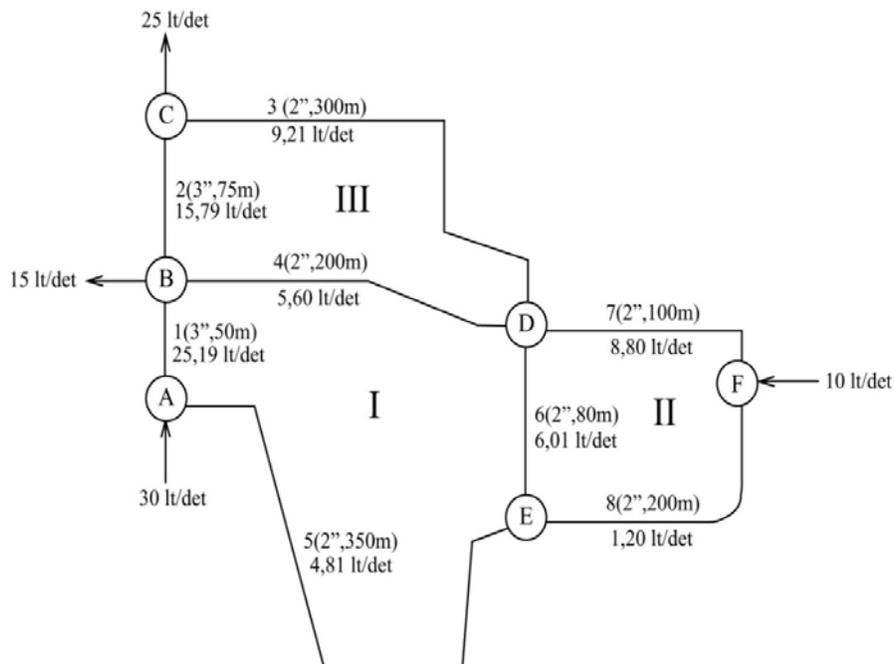
Pipa 8 (EF) = +5 - 3,80 = +1,20 lt/det

Jaring III:

Pipa 2 (BC) = +15 + 0,79 = +15,79 lt/det

Pipa 3 (CD) = -10 + 0,79 = -9,21 lt/det

Pipa 4 (BD) = +4,81 + 0,79 = +5,60 lt/det



Gambar 5.

Tabel 11. Syarat Kontinuitas.

Interaksi I												
Titik Nodal	Q _{masuk} (lir/det)	Debit pada Pipa (lir/det)								Q _{eluar} (lir/det)	Kontinuitas	
		1 (AB)	2 (BC)	3 (CD)	4 (BD)	5 (AE)	6 (DE)	7 (DF)	8 (EF)			
A	30	-25,19				-4,81					0	
B		25,19	-15,79		5,60						-15	0
C			15,79	9,21							-25	0
D				-9,21	-5,60			8,80				0
E					4,81	-6,01		1,20				0
F	10						-8,80	-1,20				0

Lanjutkan iterasi II, III, IV dan seterusnya sampai hasil perhitungan $\Delta Q \leq 5\%$ terhadap debit yang terkecil pada masing-masing jaring.

Hasil akhir dengan rumus Manning untuk kasus 1, sebagai berikut:

Jaring I:

Pipa 1 (AB) = + 30,28 lt/det

Pipa 4 (BD) = - 4,64 lt/det

Pipa 5 (AE) = + 0,28 lt/det

Pipa 6 (DE) = - 3,51 lt/det

Jaring II:

Pipa 6 (DE) = + 3,51 lt/det

Pipa 7 (DE) = - 6,21 lt/det

Pipa 8 (EF) = +3,79 lt/det

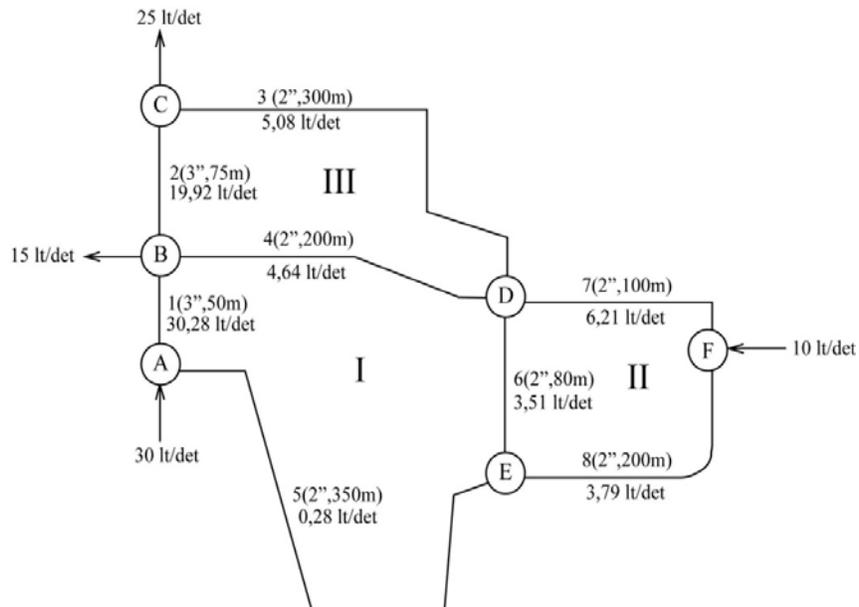
Jaring III:

Pipa 2 (BC) = +19,92 lt/det

Pipa 3 (CD) = -5,08 lt/det

Pipa 4 (BD) = +4,64 lt/det

Untuk kasus 2, 3, 4 dan 5 dapat dilakukan dengan cara yang sama dengan kasus 1.



Gambar 6

Tabel 12. Syarat Kontinuitas.

Interaksi Akhir											
Titik Nodal	Q_{masuk} (l/det)	Debit pada Pipa (l/det)								Q_{eluar} (l/det)	Kontinuitas
		1 (AB)	2 (BC)	3 (CD)	4 (BD)	5 (AE)	6 (DE)	7 (DF)	8 (EF)		
A	30	-30,28				0,28					0
B		30,28	-19,92		6,64						-15
C			19,92	5,08							-25
D				-5,08	4,64		3,51	6,21			0
E					-0,28	-3,51			3,79		0
F	10						-6,21	-3,79			0

Manning pada Tiap-tiap Kasus.

Pipa	Jenjang	L (m)	Kasus 1		Kasus 2		Kasus 3		Kasus 4		Kasus 5	
			D (in)	Koefisien Manning Williams	D (in)	Koefisien Manning Williams	D (in)	Koefisien Manning Williams	D (in)	Koefisien Manning Williams	D (in)	Koefisien Manning Williams
1(AB)	I	50	3	15359,69	57158,07	2	110648,87	496856,47	3	15359,69	57158,07	
4(BD)		200	2	442595,46	1987425,88	2	442595,46	1987425,88	2	442595,46	1987425,88	
5(AE)		350	2	774542,06	3477995,30	3	774542,06	3477995,30	3	107517,85	40106,50	
6(DE)		80	2	177038,18	794970,35	2	177038,18	794970,35	3	24575,51	91452,91	
6(DE)		80	2	177038,18	794970,35	2	177038,18	794970,35	2	177038,18	794970,35	
7(DF)		100	2	221297,73	993712,94	3	30719,39	114316,14	2	221297,73	993712,94	
8(EF)	II	200	2	442595,46	1987425,88	2	442595,46	1987425,88	3	61438,77	228632,29	
2(BC)		75	3	23039,54	85737,11	2	163973,30	745284,71	3	23039,54	85737,11	
3(CD)	III	300	2	663893,19	2981138,83	2	663893,19	2981138,83	3	92158,16	342948,43	
4(BD)		200	2	442595,46	1987425,88	2	442595,46	1987425,88	3	61438,77	228632,29	

Rumus Hazen-Williams :

$$k = \frac{10,29n^{16}}{D^{16}}$$

Rumus Manning :

$$k = \frac{10,68L}{C_{HW}^{1,49} D^{4,75}}$$

Dimana :

L : panjang pipa (m)

D : diameter pipa (m)

C_{HW} : koefisien gesekan Hazen-Williams

n : koefisien gesekan Manning

Pipa	Jaring	L (m)	Q ₀ (W/det)	Q (W/det)									
				Kasus 1		Kasus 2		Kasus 3		Kasus 4		Kasus 5	
				Hazen-Williams	Manning								
1(AB)		50	20	30,47	30,28	24,34	23,75	24,34	23,75	19,07	18,35	29,95	29,71
4(BD)		200	10	4,52	4,64	6,39	6,74	6,39	6,74	6,03	6,39	4,85	5,01
5(AE)	I	350	10	0,47	0,28	5,66	6,25	5,66	6,25	10,93	11,65	0,05	0,29
6(DE)		80	15	3,26	3,51	7,85	8,29	7,85	8,29	11,09	11,43	1,92	2,18
6(DE)		80	15	3,26	3,51	7,85	8,29	7,85	8,29	11,09	11,43	1,92	2,18
7(DF)		100	5	6,27	6,21	7,80	7,96	7,80	7,96	9,84	10,22	8,13	8,11
8(EF)	II	200	5	3,73	3,79	2,20	2,04	2,20	2,04	0,16	0,22	1,87	1,89
2(BC)		75	15	19,99	19,92	15,73	15,30	15,73	15,30	10,10	9,73	19,80	19,72
3(CD)	III	300	10	5,01	5,08	9,27	9,50	9,27	9,50	14,90	15,27	5,20	5,28
4(BD)		200	10	4,52	4,64	6,39	6,74	6,39	6,74	6,03	6,39	4,85	5,01

Metode Hardy-Cross dengan Rumus Hazen-Williams :
n = 1,852

$$\Delta Q = \frac{\sum k Q_0^{1,852}}{\sum |1,852 k Q_0^{0,852}|}$$

Metode Hardy-Cross dengan Rumus Manning :
n = 2

$$\Delta Q = \frac{\sum k Q_0^2}{\sum |2 k Q_0|}$$

6. KESIMPULAN

Dari hasil analisis perhitungan debit pada sebagian jaringan pipa PDAM di kota Padalarang Bandung, menggunakan Metoda Hardy-Cross dengan rumus Hazen-William dan rumus Manning, dapat disimpulkan :

- Nilai konstanta hambatan pipa (k) pada Metoda Hardy-Cross berhubungan langsung dalam penentuan debit pada suatu jaringan pipa, seperti terlihat pada persamaan berikut ini :

$$Q_2 = Q_1 \pm \Delta Q$$

$$Q_2 = Q_1 \pm \frac{\sum kQ_0^n}{\sum |nkQ_0^{n-1}|}$$

- Hasil debit yang didapat dengan Metoda Hardy-Cross menurut rumus Hazen-Williams.

Tabel 15.

Pipa	L (m)	Q ₀ (lt/det)	Q (lt/det)									
			D (in)	Kasus 1	D (in)	Kasus 2	D (in)	Kasus 3	D (in)	Kasus 4	D (in)	Kasus 5
1 (AB)	50	20	3	30,47	2	24,34	3	24,34	2	19,07	3	29,95
2 (BC)	75	15	3	19,99	2	15,73	3	15,73	2	10,10	3	19,80
3 (CD)	300	10	2	5,01	2	9,27	3	9,27	3	14,90	2	5,20
4 (BD)	200	10	2	4,52	2	6,39	3	6,39	3	6,03	2	4,85
5 (AE)	350	10	2	0,47	2	5,66	3	5,66	3	10,93	2	0,05
6 (DE)	80	15	2	3,26	2	7,85	3	7,85	2	11,09	3	1,92
7 (DF)	100	5	2	6,27	2	7,80	3	7,80	2	9,84	3	8,13
8 (EF)	200	5	2	3,73	2	2,20	3	2,20	3	0,16	2	1,87

Kesimpulan dari hasil diatas terlihat pada kasus 2 dan kasus 3, dengan menggunakan diameter pipa yang sama akan menghasilkan debit tetap (tidak berubah).

- Hasil debit yang didapat dengan metode Hardy-Cross menurut rumus Manning

Tabel 16.

Pipa	L (m)	Q ₀ (lt/det)	Q (lt/det)									
			D (in)	Kasus 1	D (in)	Kasus 2	D (in)	Kasus 3	D (in)	Kasus 4	D (in)	Kasus 5
1 (AB)	50	20	3	30,28	2	23,75	3	23,75	2	18,35	3	29,71
2 (BC)	75	15	3	19,92	2	15,50	3	15,50	2	9,73	3	19,72
3 (CD)	300	10	2	5,08	2	9,50	3	9,50	3	15,27	2	5,28

Tabel 16. Lanjutan												
Pipa	L (m)	Q ₀ (lt/det)	Q (lt/det)									
			D (in)	Kasus 1	D (in)	Kasus 2	D (in)	Kasus 3	D (in)	Kasus 4	D (in)	Kasus 5
4 (BD)	200	10	2	4,64	2	6,74	3	6,74	3	6,39	2	5,01
5 (AE)	350	10	2	0,28	2	6,25	3	6,25	3	11,65	2	0,29
6 (DE)	80	15	2	3,51	2	8,29	3	8,29	2	11,43	3	2,18
7 (DF)	100	5	2	6,21	2	7,96	3	7,96	2	10,22	3	8,11
8 (EF)	200	5	2	3,79	2	2,04	3	2,04	3	0,22	2	1,89

Kesimpulan dari hasil diatas terlihat pada kasus 2 dan kasus 3, dengan menggunakan diameter pipa yang sama akan menghasilkan debit tetap (tidak berubah).

- d. Baik secara rumus Hazen Williams maupun rumus Manning, apabila suatu jaringan pipa menggunakan pipa-pipa dengan jenis dan diameter yang sama maka dalam perhitungan ΔQ , parameter (C_{HW} atau n') dan (D) dapat saling menghilangkan/meniadakan.
- e. Hasil debit yang didapat dengan Metoda Hardy-Cross menurut rumus Hazen-Williams dan rumus Manning, pada kasus yang debitnya besar (> 10 lt/det) akan menghasilkan persentasi perbedaan debit ($\Delta \%$) yang tidak jauh berbeda, baik dengan rumus Hazen-Williams maupun rumus Manning, karena persentasi perbedaan debitnya kecil sehingga hasilnya lebih akurat, sebaliknya pada kasus yang debitnya kecil (< 10 lt/det) akan menghasilkan persentasi perbedaan debit ($\Delta \%$) yang jauh berbeda, baik dengan rumus Hazen-Williams maupun rumus Manning, karena persentasi perbedaan debitnya besar sehingga hasilnya kurang akurat.

Tabel 17. Debit pada tiap kasus dengan Rumus Hazen-Williams (Q_{HW}) dan Rumus Manning (Q_M).

Pipa	L (m)	Q_w (l/det)	D (in)	Q (l/det)																		
				Kasus 1			D (in)	Kasus 2			D (in)	Kasus 3			D (in)	Kasus 4			D (in)	Kasus 5		
				Q_{rw}	Q_w	$\Delta\%$		Q_{rw}	Q_w	$\Delta\%$		Q_{rw}	Q_w	$\Delta\%$		Q_{rw}	Q_w	$\Delta\%$		Q_{rw}	Q_w	$\Delta\%$
1 (AB)	50	20	3	30,47	30,28	0,63	2	24,34	23,75	2,48	3	24,34	23,75	2,48	2	19,07	18,35	3,92	3	29,95	29,71	0,81
2 (BC)	75	15	3	19,99	19,92	0,35	2	15,73	15,50	1,48	3	15,73	15,50	1,48	2	10,10	9,73	3,80	3	19,80	19,72	0,41
3 (CD)	300	10	2	5,01	5,08	1,38	2	9,27	9,50	2,42	3	9,27	9,50	2,42	3	14,90	15,27	2,42	2	5,20	5,28	1,52
4 (BD)	200	10	2	4,52	4,64	2,59	2	6,39	6,74	5,19	3	6,39	6,74	5,19	3	6,03	6,39	5,63	2	4,85	5,01	3,19
5 (AE)	350	10	2	0,47	0,28	67,86	2	5,66	6,25	9,44	3	5,66	6,25	9,44	3	10,93	11,65	6,18	2	0,05	0,29	82,76
6 (DE)	80	15	2	3,26	3,51	7,12	2	7,85	8,29	5,31	3	7,85	8,29	5,31	2	11,09	11,43	2,97	3	1,92	2,18	11,93
7 (DF)	100	5	2	6,27	6,21	0,97	2	7,80	7,96	2,01	3	7,80	7,96	2,01	2	9,84	10,22	3,72	3	8,13	8,11	0,25
8 (EF)	200	5	2	3,73	3,79	1,58	2	2,20	2,04	7,84	3	2,20	2,04	7,84	3	0,16	0,22	27,27	2	1,87	1,89	1,06

- f. Disarankan pada penelitian selanjutnya agar jaringan pipa diperluas (diperbanyak jaringannya). Karakteristik pipa yang digunakan lebih bervariasi dan juga menggunakan rumus-rumus lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bhawe, Pramod, R., (1991). *Analysis of Flow in Water Distribution Network*, Technomic Publishing company Inc., Lancaster, Pennsylvania 17604 USA.
2. Brater, Ernest, F., King, Horace, W., (1976). *Handbook of Hydraulics, For the Solution of Hydraulic Engineering Problems*, Mc Graw – Hill Book Company, New York.
3. Davis, Calvin, V., Sorensen, Kenneth, E., (1969). *Handbook of applied Hydraulics*, Third Edition, McGraw-Hill Book Company, New York.
4. Jeppson, Roland, W., (1971). *Analysis of Flow in Pipe Network*, Ann Arbor Science Publishers Inc., Michigan 48106.
5. Mg Junkin, F.E., Vesilin, P.A., (1968). *Practical Hydraulics for The Public Work Engineer*, Public Work Magazine, Ridge Wood New Jersey.
6. Potter, Merle, C., (1991). *Mechanics of Fluids*, Pretience-Hall Inc., New Jersey.
7. Ranald, V. Giles, B.S., M.S. in C.E., (1977) *Theory and Problems of Fluids Mechanics and Hydraulics*, McGraw-Hill Inc, New York.
8. Triatmodjo, B., (1996). *Hidraulika I*, Edisi 2, Penerbit Beta Offset, Yogyakarta.
9. Triatmodjo, B., (1993). *Hidraulika II*, Edisi 1, Penerbit Beta Offset, Yogyakarta.

KONSEP DASAR TERJADINYA ANGKUTAN SEDIMEN

Maria Christine

Dosen tetap, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha, Bandung
Jalan Prof. drg. Soeria Sumantri, MPH., No. 65, Bandung, 40164
e-mail: mrxtime@yahoo.com

ABSTRACT

Quickflow is generated by processes ranging from infiltration excess overland to subsurface stormflow and is concentrated into storm hydrograph form by the basin topography and network geometry. A succession of such hydrographs over a period in the main valley bottom carves in the alluvium a channel whose form reflects the interaction between the local sedimentology and the physical mechanisms of channel flow. Particularly important physical processes are those determining the distribution and magnitude of bed shear stress exerted by the flow, the momentum transfer from rapid to slow zones of flow, the velocity distribution with depth and across the channel, and the rate of transformation of potential energy to kinetic energy and work.

Keywords: Sediment Transport, Basic Concept.

ABSTRAK

Pada umumnya kecepatan yang besar merupakan awal dari terbentuknya sebuah alur pada permukaan dan dilanjutkan pada daerah di sebelah bawahnya. Pembentukan alur sepanjang waktu dari sebuah proses saluran terbuka yang terbentuk dari material lepas merupakan suatu fenomena dari angkutan sedimen. Secara fisik proses pergerakan dan pendistribusian partikel terbesar terjadi oleh tegangan geser yang ada pada dasar saluran yang didistribusikan dari daerah kecepatan yang tinggi ke rendah, selain itu kecepatan juga didistribusikan ke arah melintang saluran serta adanya perubahan dari energi potensial ke energi kinetik.

Kata kunci: Angkutan Sedimen, Konsep Dasar.

1. PENDAHULUAN

Sebuah saluran dengan material pasir dalam keadaan lepas dan non cohesive serta berbutir seragam yang diairi dengan debit tertentu, maka partikel-partikel dasar saluran tersebut pasti akan mengalami gaya yang kita kenal dengan gaya hidrodinamis. Kecepatan aliran akan bertambah dengan bertambahnya debit yang dikarenakan oleh sebab tertentu, maka dengan sendirinya gaya-gaya hidrodinamis yang timbul akan bertambah besar, sehingga partikel-partikel material dari dasar saluran tidak dapat bertahan lagi dan akan mulai bergerak hanyut, dimana saat-saat seperti ini akan kita kenal dengan kondisi KRITIS.

Pergerakan ini tidak terjadi secara seketika, tetapi secara bertahap dan pada umumnya dimulai dari lapisan yang paling atas. Secara garis besar Persamaan tahapan pergerakan endapan ini dapat kita bagi menjadi 3 bagian, antara lain:

- a. Persamaan Kecepatan Kritis (Critical Velocity Equations):

Hal ini ditinjau dari pengaruh cairan dalam hal ini air terhadap partikel dasar sehingga menyebabkan partikel tersebut mulai bergerak.

b. Persamaan Geser Kritis (Critical Shear Stress Equations):

Disini yang ditinjau adalah gaya gesek atau friksi dan gaya seret atau drag yang disebabkan oleh aliran terhadap partikel.

c. Kriteria Gaya Angkat (Lift Force Criteria):

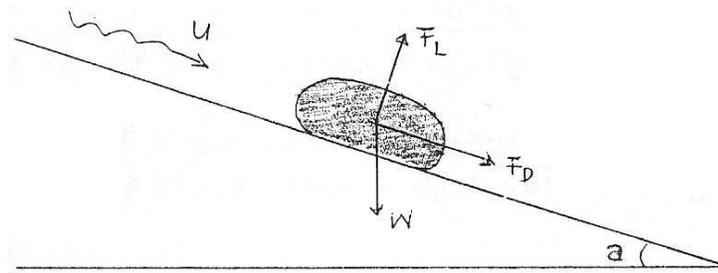
Karena diakibatkan oleh adanya perbedaan tekanan akibat adanya perbedaan kecepatan pada lapisan atas dan lapisan bawah, sehingga menimbulkan gaya angkat. Gaya angkat tersebut yang dapat mengangkat partikel tersebut.

2. PERSAMAAN KECEPATAN KRITIS

Peninjauan partikel:

- Cohesionless
- Kondisi Lepas
- Solid

$$\tan \theta = \frac{\text{gaya.paralel}}{\text{gaya.normal}} = \frac{F_t}{F_n}$$



Gambar 1.

α = Sudut kemiringan dasar saluran

F_D = Gaya seret hidrodinamis

F_L = Gaya angkat

W = Berat sendiri partikel

Maka kondisi awal pergerakan menjadi :

$$\tan \theta = \frac{W \sin \alpha + F_D}{W \cos \alpha - F_L}$$

$$F_D = C_D \cdot k_1 \cdot d^2 \cdot 0,50 \cdot \rho \cdot U_b^2$$

$$F_L = C_L \cdot k_2 \cdot d^2 \cdot 0,50 \cdot \rho \cdot U_b^2$$

$$W = k_3 \cdot (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot d^3$$

Jika:

- U = Kecepatan aliran arah tangensial
- U_b = Kecepatan aliran dasar
- ρ = Density cairan
- ρ_s = Density partikel
- C_D = Koefisien gaya seret
- C_L = Koefisien gaya angkat
- $k_{1,2,3}$ = Faktor bentuk

Maka:

$$\tan \theta = \frac{W \sin \alpha + F_D}{W \cos \alpha - F_L}$$

$$\tan \theta = \frac{k_3 (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot d^3 \cdot \sin \alpha + C_D \cdot k_1 \cdot d^2 \cdot 0,50 \cdot U_b^2}{k_3 (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot d^3 \cdot \cos \alpha - C_L \cdot k_2 \cdot d^2 \cdot 0,50 \cdot U_b^2}$$

$$\tan \theta \cdot \{k_3 (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot d^3 \cdot \cos \alpha - C_L \cdot k_2 \cdot d^2 \cdot 0,50 \cdot U_b^2\} = \{k_3 (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot d^3 \cdot \sin \alpha + C_D \cdot k_1 \cdot d^2 \cdot 0,50 \cdot U_b^2\}$$

$$\{2 \cdot k_3 (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot d^3 (\tan \theta \cdot \cos \alpha - \sin \alpha)\} = \{d^2 \cdot 0,50 \cdot U_b^2 (C_D \cdot k_1 + C_L \cdot k_2 \cdot \tan \theta)\}$$

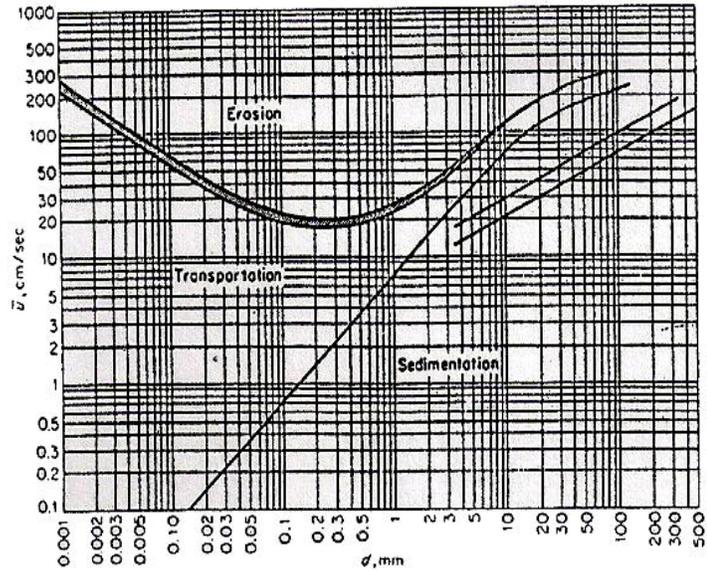
$$\left\{ 2 \cdot k_3 \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) \cdot g \cdot d (\tan \theta \cdot \cos \alpha - \sin \alpha) \right\} = \left\{ U_b^2 (C_D \cdot k_1 + C_L \cdot k_2 \cdot \tan \theta) \right\}$$

$$\frac{2 \cdot k_3 (\tan \theta \cdot \cos \alpha - \sin \alpha)}{C_D \cdot k_1 + C_L \cdot k_2 \cdot \tan \theta} = \frac{U_b^2}{\left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) \cdot g \cdot d}$$

$$A' = \frac{2 \cdot k_3 (\tan \theta \cdot \cos \alpha - \sin \alpha)}{C_D \cdot k_1 + C_L \cdot k_2 \cdot \tan \theta} \quad \text{-----} \rightarrow \text{Koefisien sedimen}$$

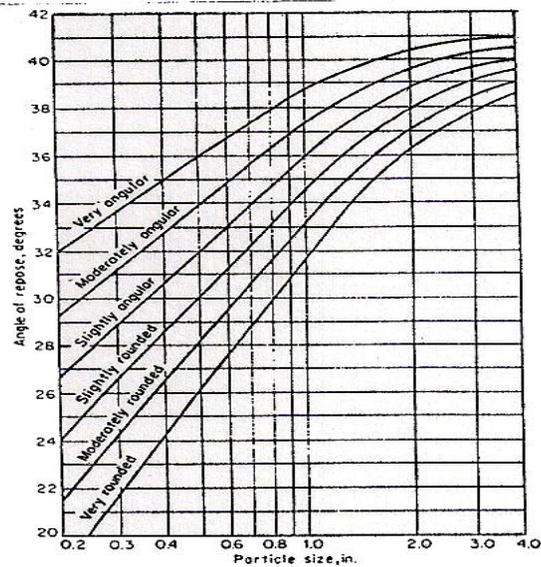
Untuk kondisi alam $\cos \alpha \approx 1,00$

- θ = dapat diambil dari grafik 1
- Gambar 2 = hubungan antara diameter butir dengan gerusan



Erosion-deposition criteria for uniform particles. [After HJULSTRÖM (1935).]

Gambar 2. Hubungan diameter dan kecepatan gerusan.



Angles of repose of noncohesive material. [After LANE (1953).]

Gambar 3. Hubungan diameter dengan teta.

3. PERSAMAAN GESER KRITIS

Menurut Forchkimer (1914) bahwa hubungan antara berat kolom air dengan gaya gesek pada dasar saluran adalah :

$$\begin{aligned} \gamma.D.S &= k_4.U_b^2 \\ D &= \text{kedalaman air} \\ S &= \text{kemiringan garis energi} \\ k_4 &= \text{konstanta} \end{aligned}$$

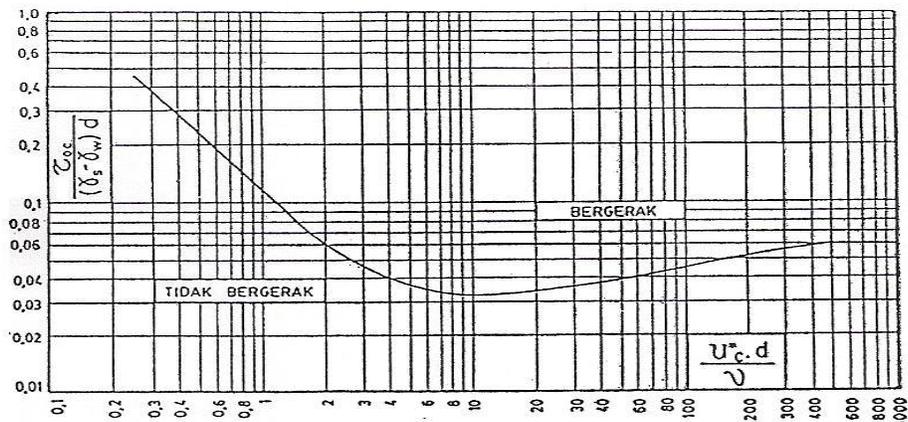
Jika gaya tarik permukaan $\tau_0 = \gamma.D.S$ dan $D \approx R_h$, maka $\tau_0 = t.R_h.S$ yang jika kita substitusikan kedalam persamaan koefisien sedimen akan menjadi :

$$\frac{(U_b^2)_{cr}}{(\frac{\rho_s}{\rho} - 1).g.d} = \frac{2.k_3(\tan \theta . \cos \alpha - \sin \alpha)}{C_D.k_1 + C_L.k_2 . \tan \theta}$$

$$\frac{\tau.R_h.S}{k_4 \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - \frac{\gamma}{\gamma} \right).g.d} = \frac{2.k_3(\tan \theta \cos \alpha - \sin \epsilon)}{C_D k_1 + C_L k_2 . \tan \theta}$$

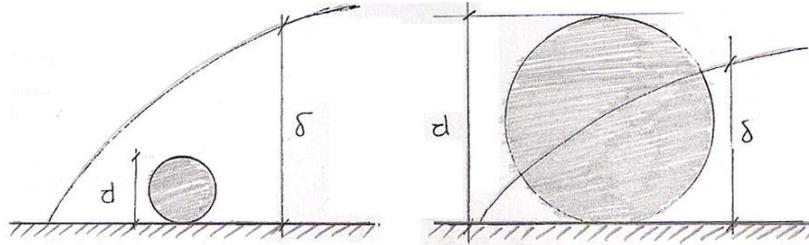
$$\frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma).d} = A''$$

Nilai A'' dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Hubungan antara A'' dan $U^*.D/v$.

CATATAN :



Gambar 5.

1. $d < \delta$

R_e = nilainya kecil, yang berarti boundary layer halus, partikel tertutup oleh film air, dimana pergerakan utamanya bebas dari turbulensi, tetapi butir bergerak oleh kiprah kekentalan.

2. $d > \delta$

R_e = nilainya besar, yang berarti turbulen, dimana pergerakan tidak lagi bergantung dari tegangan, tetapi oleh kiprah turbulensi.

$$\frac{(\tau_0)_{cr}}{(\gamma_s - \gamma).d} = 0,06$$

3. $d \approx \delta$

R_e = nilainya terletak pada peralihan

$$\frac{(\tau_0)_{cr}}{(\gamma_s - \gamma).d_{min}} = 0,03$$

Dibawah nilai diatas tidak ada pergerakan, tetapi gerak awal dipengaruhi oleh kemiringan dasar saluran, tetapi untuk diameter partikel yang besar ia akan bergerak pada lereng yang besar tanpa memperdulikan tegangan geser yang terjadi.

$$F_D = C_D.k_1.d^2.0,50. .U_b^2$$

Persamaan von Karman – Prandtl

$$\frac{U_d}{U^*} = f_1 \cdot \frac{U^*.d}{\nu}$$

U_d = kecepatan tepat diatas partikel

$$U^* = \text{kecepatan geser} = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = \sqrt{g \cdot H \cdot S}$$

D = diameter butir (dianggap uniform)

$C_D = f_2 \cdot \frac{U^* \cdot d}{\nu}$ pada awal mulai bergerak dimana $U_d = U^*$ dan $H = R_c^*$ sehingga

$$R_c^* = \frac{U^* \cdot d}{\nu}$$

R_c^* = keliling basah

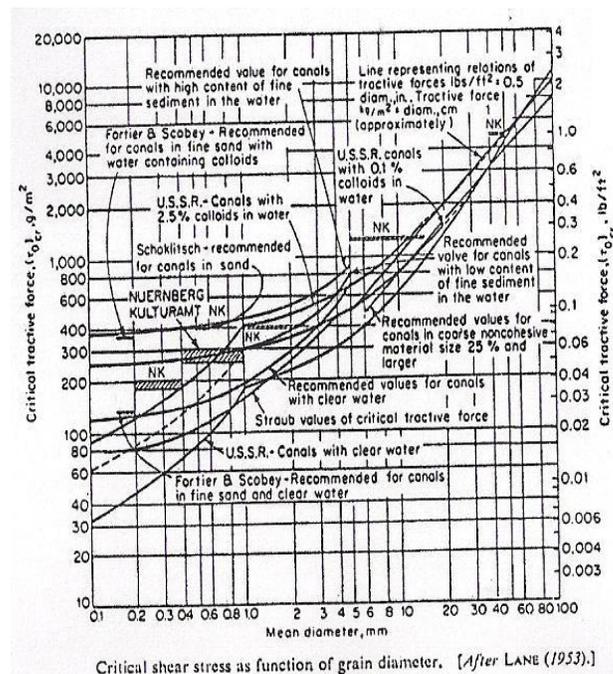
U^* = kecepatan geser

ν = kekentalan kinematik air

U^* = kecepatan geser pada saat mulai bergerak

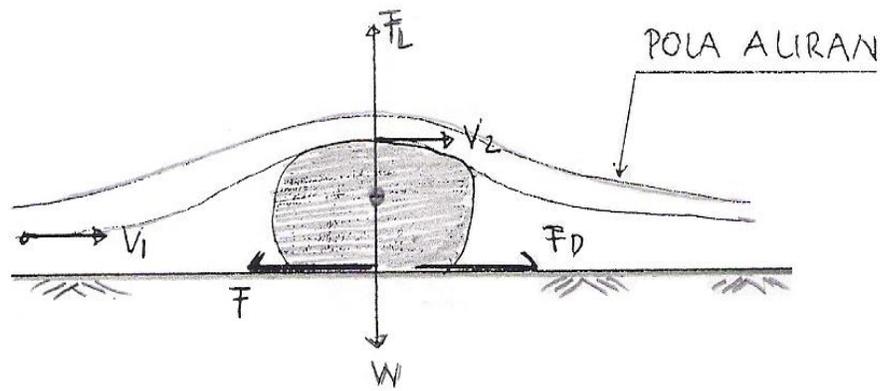
Jadi untuk partikel dengan bentuk tertentu dan untuk kondisi kritis

$$\frac{\tau_{0c}}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} = f(R_c)$$



Gambar 6. Grafik critical shear stress sebagai fungsi dari grain diameter.

4. KRITERIA GAYA ANGKAT



Gambar 7.

W = berat sendiri partikel = $\pi/6 \cdot d^3 \cdot (\gamma_s - \gamma)$

Gaya cairan adalah gaya yang bekerja pada butir dan mengacu kepada Hukum Bernoullie

$$Z_1 + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + P_1 = Z_2 + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + P_2 = \text{kons tan}$$

Karena dianggap partikel cukup kecil, maka

$$Z_1 \approx Z_2$$

$$V_1 > V_2$$

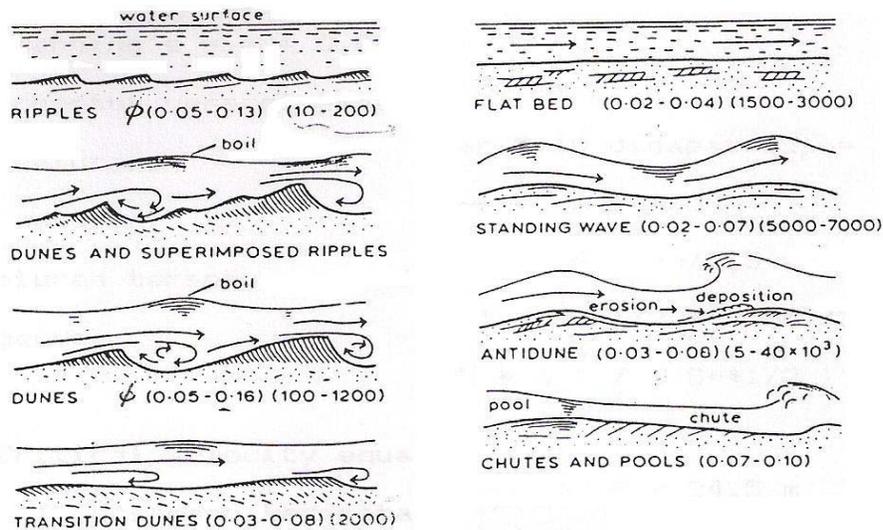
$$P_1 < P_2$$

Sehingga $F_L = C_L \cdot k_2 \cdot d^2 \cdot 0,50 \cdot U_b^2$

$$F_D = C_D \cdot k_1 \cdot d^2 \cdot 0,50 \cdot U_b^2$$

Gerakan akan terjadi jika $F_L + F_D > W$

Berbagai bentuk dasar saluran yang diakibatkan oleh pergerakan sedimen dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



**Gambar 8. Berbagai bentuk dasar saluran
Bed Load Transport 10 – 40.000 (ppm), diameter butir 0,02 – 0,16 (mm).**

CONTOH

- Diketahui: Coarse quartz gravel $d_{50} = 50 \text{ mm}$
 Debit air bersih = $Q = 30 \text{ m}^3/\text{detik}$
 Koefisien kekasaran Manning = $n = 0,025$
 Saluran berbentuk persegi B x D
 B = lebar dasar saluran
 D = dalam saluran

Tentukan: Dimensi saluran tersebut agar dasar saluran tidak tergerus

Solusi: Cara I \rightarrow Persamaan Kecepatan Kritis
 Dari grafik 1 di dapat $U_{cr} = 250 \text{ cm/detik}$
 $Q = U \cdot A \rightarrow A = 30/2,5 = 12 \text{ m}^2$
 $U = (1/n) \cdot S^{0,5} \cdot R_h^{2/3} \rightarrow R_h = 0,49 \text{ m}$
 $R_h = A/P \rightarrow P = 24,5 \text{ m}$
 $A = D \cdot B \rightarrow B = 12/D$
 $P = 2 \cdot D + B \rightarrow 24,5 = 2 \cdot D + 12/D$
 $24,5 \cdot D = 2 \cdot D \cdot D + 12$
 $D = 0,51 \text{ m}$
 $B = 23,478 \text{ m}$

Cara II → Persamaan Geser Kritis

Untuk $d_{50} = 50$ mm, dari grafik 3, di dapat $(\tau_0)_{cr} \approx 4,5$ kg/m²

$(\tau_0) = t.S.R_h \rightarrow R_h = 0,45$ m \approx D

$U = (1/n). S^{0,5}.R_h^{2/3} \rightarrow U = 2,35$ m/detik

$Q = U . A \rightarrow A = 30/2,35 = 12,8$ m²

$A = D.B \rightarrow B = 28,4$ m

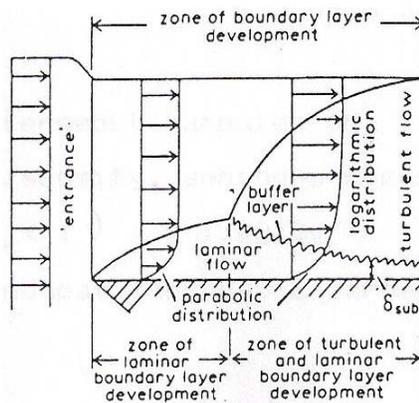
Kesimpulan:

Terdapat sedikit perbedaan dikarenakan pembacaan grafik yang berlainan.

5. DISTRIBUSI KECEPATAN DAN SYARAT BATAS

Air yang melewati sungai akan diperlambat oleh hambatan pada dasar dan tepi sungai tersebut, akan tetapi hambatan geser yang berbatasan dengan batas cairan tersebut tidak efektif.

Pengaruh dari hambatan seret dibatasi oleh syarat batas di mana gradient kecepatan terjadi dan dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

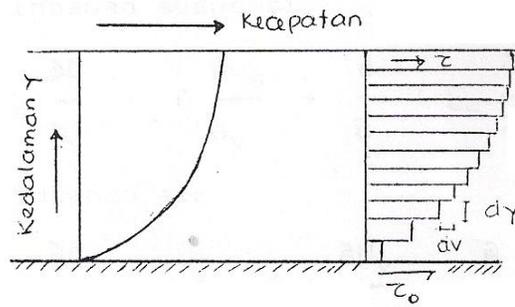


Gambar 9. Syarat batas aliran bebas yang melintasi permukaan bebas.

Dalam prakteknya syarat batas tersebut terus diperpanjang sampai mencapai permukaan.

Cairan yang terletak jauh dari syarat batas mempunyai momentum per unit volume ($\gamma_w.V$) yang lebih besar daripada cairan yang terletak di dalam batasan momentum yang lebih tinggi ke momentum yang lebih rendah.

Profil kecepatan yang pada umumnya terjadi banyak ditinjau dalam dua dimensi, tetapi tergantung pada karakteristik aliran. Jika cairan tersebut laminar dan merupakan cairan ideal, maka dapat kita gambarkan sebagai berikut



Gambar 10. Profil kecepatan untuk aliran laminar.

ν = Kekentalan kinematik maka shear stress/ tegangan geser terjadi:

$$\tau = \rho_w \cdot g \cdot (d - y) \cdot S$$

y = jarak partikel ke dasar

d = dalamnya air

Dapat di tulis $\tau = \nu \cdot \frac{\partial U}{\partial y}$ (BOUSINESQ., 1868)

Jika aliran tersebut turbulen, ada tambahan sebesar E yaitu Eddy

Viscosity, sehingga rumus diatas menjadi

$$\tau = (\nu + E) \cdot \frac{\partial U}{\partial y}$$

Beberapa pendapat mengenai E berdasarkan zero equation :

Shear stress pada umumnya diikuti oleh rotasi serta perpindahan sedimen.

Distribusi sedimen :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -U_i \frac{\partial c}{\partial x_i} - C \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(E_i \frac{\partial c}{\partial x_i} \right)$$

Dalam kondisi :

- Uniform flow pada titik x_i
- Konsentrasi tetap terhadap waktu
- X_2 komponen arah y yang bervariasi

$$0 = -U_y \frac{\partial c}{\partial y} - C \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(E_y \frac{\partial c}{\partial y} \right)$$

Jadi perpindahan suspense

$$0 = -U_s \frac{\partial c}{\partial y} - C \frac{\partial u_s}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(E_s \frac{\partial c}{\partial y} \right)$$

Jadi perpindahan air

$$0 = -U_y \frac{\partial c}{\partial y} - (1-C) \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(E \frac{\partial c}{\partial y} \right)$$

Jika $U_s = U_y - v_{ss}$

$$\{E_s + C(E - E_s)\} \frac{\partial c}{\partial y} + (1-C).C.v_{ss} = 0 \rightarrow \text{Einstein et.all.,1955}$$

- E_s = gambar diffusi dari unsure solid
- E = gambar difussi dari liquid

Jika $E_s = E$

$$E_s \frac{\partial c}{\partial y} + (1-C).C.v_{ss} = 0$$

Von Karman $E = 2.x.H.U_a (1-n).(1-\sqrt{1-n})$

Indratmo $E_0 = 0,079$

Power Law $E = x.H.U_a (1-n)^{(1-\frac{1}{n})} .(1-n)$

Logaritmic Law $E = x.H.U_a (1-n)$

Tominaga $E = E_0.U^* .H.n.(1-n)$

$$E_0 = 0,10$$

$$U_a = \text{shear.velocity} = \sqrt{g.H.S} = U^* \rightarrow U_a^2 = g.H.S$$

$$\text{Kecepatan rata-rata dari Chezy} \rightarrow V^n = C\sqrt{H.S} \rightarrow V^{n^2} = C^2.H.S$$

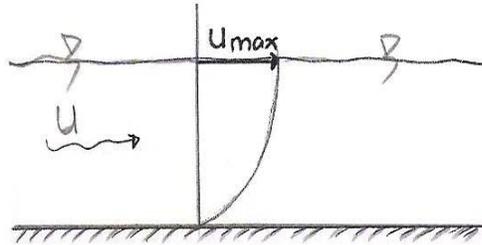
$$U_a^2 = (g.V^2)/C \rightarrow U_a = \left(\frac{\sqrt{g}}{C}\right).V^n$$

6. DISTRIBUSI KECEPATAN DALAM ARAH VERTIKAL

$$U_i = 2,5\sqrt{g.R.S} \cdot \ln\left(30 \cdot \frac{y}{K}\right) + B$$

- U_i = kecepatan dititik i
- B = $f_{(Re)}$
- K = kekasaran dinding

Untuk saluran sangat lebar $\rightarrow (B/H) \gggg$ dimana tidak ada gangguan dari dinding, logarithmic law tidak berlaku penuh, karena U_{max} ada pada permukaan air.



Gambar 11.

$$U = U_s + (1/x) \cdot U^* \cdot \ln \rightarrow \text{logarithmic law}$$

- U_s = kecepatan pada permukaan air
- $U^* = \sqrt{g.H.S}$

$$\frac{u}{u^*} = 5,75 \cdot \log 30,2 \frac{Y}{k_s} \rightarrow \text{logarithmic law in clear water}$$

K_s = Nikuradze sand roughness

Jika konsentrasi kecil, maka $C = 0$

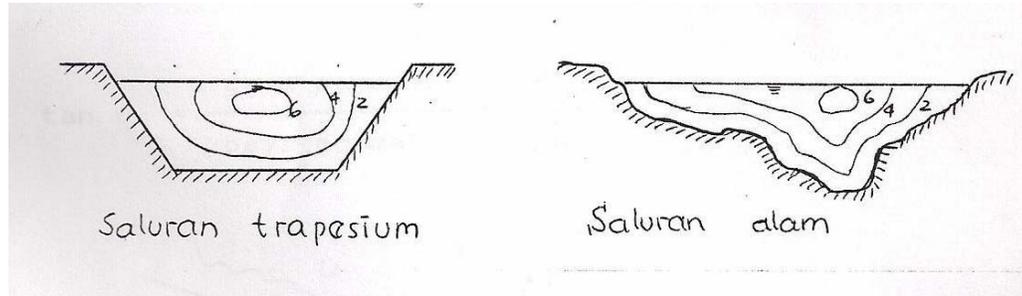
$$E_s \frac{\partial c}{\partial y} + C \cdot v_{ss} = 0$$

Jika ada unsur diffuse dari unsure solid

$$\tau_y = \left(1 + \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \cdot C\right) \rho \cdot E \cdot \frac{\partial u}{\partial y} \text{ akan menjadi}$$

$$\frac{\partial C}{\partial y} = - \left(1 + \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \cdot C\right) \cdot C \cdot (1 - C) \cdot v_{ss} \cdot \frac{\partial u}{\partial y} \cdot \frac{\rho}{y} \rightarrow v_{ss} = \text{kecepatan jatuh}$$

7. DISTRIBUSI KECEPATAN DALAM ARAH MELINTANG PADA SALURAN LURUS



Gambar 12. Distribusi kecepatan aliran arah melintang saluran.

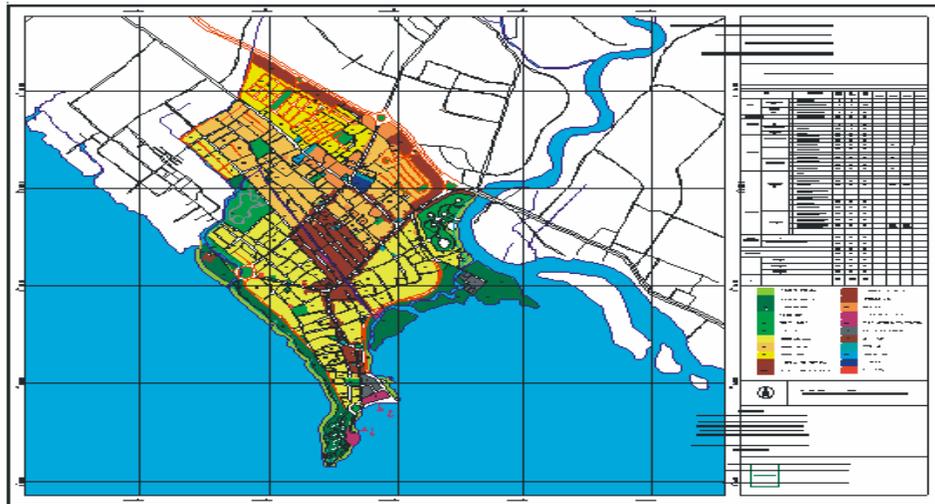
$$\frac{U}{U_{\max}} = \left[1 - \left(\frac{2b}{B} \right)^2 \right]^f$$

- U = kecepatan vertical rata-rata
- U_{\max} = Kecepatan pada tengah saluran
- B = lebar muka air
- b = jarak dari as saluran ke sisi yang ditinjau
- H = kedalaman air
- f = $0,24 - 0,0268 (B/H) + 0,00363(B/H)^2 + 0,000166(B/H)^3 \rightarrow \text{Indratmo.S}$

8. STUDI KASUS

Dalam penulisan ini, digunakan beberapa contoh studi kasus dengan ilustrasi gambar sebagai berikut:

1. Studi kasus suatu muara sungai yang pasti 25 tahun.
2. Selanjutnya kemudian akan berubah kondisinya.
3. Akibat adanya pengaruh aliran air yang cukup deras mengakibatkan perpindahan angkutan/sedimen transport.
4. Kelokan sungai missisipi yang saat ini sudah tersudet.
5. Aliran sungai yang menggerus daerah pemukiman.
6. Aliran sungai di daerah gurun pada musim panas.
7. Lapisan-lapisan batu cadas yang terbentuk akibat perpindahan angkutan/sedimen transpor.



Gambar 13. Menceritakan denah suatu muara sungai yang pasti 25 tahun kemudian akan berubah kondisinya.



Gambar 14. Akibat adanya pengaruh aliran air yang cukup deras mengakibatkan perpindahan angkutan / sedimen transport.



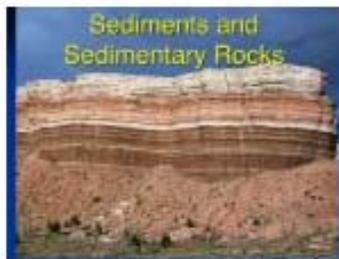
Gambar 15. Kelokan sungai missisipi yang saat kini sudah tersudet.



Gambar 16. Aliran sungai yang menggerus daerah pemukiman.



Gambar 17. Aliran sungai di daerah gurun pada musim panas.



Gambar 18. Lapisan – lapisan batu cadas yang terbentuk akibat perpindahan angkutan / sedimen transport.

9. KESIMPULAN

Sedimen transport sangat tergantung dari kecepatan serta dimana kecepatan tersebut berada, apakah di tepi maupun di tengah dari pada saluran, disamping tergantung dari pada debit yang mengalir.

DAFTAR PUSTAKA

Hans, G.W., (1971). *Hydraulics of Sediment Transport*, Leigh University.

Jansen, (1989). *Prinsiples of River Engineering, The non Tidal Alluvial River*, London Sanfrancisco Melbourne.

Selim, Y.M., *Mechanics of Sedimen Transport, second edition*, Prof of Hydraulics Queen's University at Kingston, Canada Formerly Prinsipal Scientific officer, Hydraulics Reserch Statio, Wallingforf (Berks)., England.

PERBANDINGAN JUMLAH KECELAKAAN LALULINTAS JALAN ANTAR INSTANSI TERKAIT DI INDONESIA

Budi Hartanto Susilo^[1], Firman^[2]

^[1] Dosen tetap Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha, Bandung

^[2] Alumnus D-III Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan, Bandung

ABSTRAK

Kinerja keselamatan lalulintas jalan di Indonesia berada pada peringkat sembilan dari sepuluh negara ASEAN (ADB-ASEAN, 1999). Penanganan masalah keselamatan akibat kecelakaan lalulintas jalan di Indonesia belum memberi hasil yang baik. Oleh karena itu, Indonesia perlu bekerja keras dan segera melakukan berbagai program serta tindakan untuk meningkatkan keselamatan lalulintas. Suatu kajian tentang faktor konversi data kecelakaan fatal pernah dilakukan di Bandung pada tahun 1996 (Susilo et al). Metode yang digunakan pada studi ini adalah membandingkan data jumlah korban meninggal yang ada di rumah sakit dengan data yang ada di kepolisian untuk kecelakaan yang sama. Lima rumah sakit yang menjadi obyek pengamatan adalah Hasan Sadikin, Boromeus, Immanuel, Advent, dan Al-Islam. Studi ini menghasilkan suatu faktor konversi yang mempunyai rentang antara 1,15 hingga 1,35, dan studi ini merekomendasikan faktor konversi sebesar 1,25. Rasio antara jumlah kecelakaan yang ada di PT. Jasa Raharja (36.000) terhadap jumlah kecelakaan yang ada pada Kepolisian Republik Indonesia (28.470) adalah 1,26. Angka ini mendekati faktor konversi data hasil studi Susilo et al (1996). Bila faktor konversi yang digunakan adalah 1,25 dengan data kecelakaan mati 28.470 jiwa (POLRI, 2006) dan diasumsikan jumlah penduduk Indonesia 220 juta, serta rasio kepemilikan kendaraan bermotor adalah 1 : 20 maka akan didapat jumlah kecelakaan mati sebanyak 35.588 jiwa dengan tingkat kecelakaan fatal sebesar 33 jiwa per 10.000 kendaraan (= $(28.470 \times 1,25) : (220 \text{ juta} \times 1/20 \times 1/10000)$). Berdasarkan tabel peringkat kecelakaan fatal dari Fjellstrom (2002) maka Indonesia menduduki peringkat ke-14 setelah Botswana atau peringkat ketiga di Asia setelah Bangladesh dan Syria. Data yang diperoleh dari instansi terkait seperti instansi kepolisian dalam hal ini ada tiga instansi, antara lain instansi kepolisian (POLDA dan Polwitabes), Jasa Raharja dan Dinas Kesehatan. Data dari ketiga instansi tersebut diperlukan untuk dikelompokkan dan dibandingkan sehingga dapat dicari suatu faktor yang bisa menghubungkan data-data yang ada sebagai suatu kesatuan pangkalanda yang seragam (*uniform*). Oleh karena itu diperlukan suatu faktor konversi untuk menyeragamkan data yang ada berdasarkan time series. Selanjutnya data yang sudah lengkap dapat dibuatkan suatu persamaan untuk memprediksi kecelakaan yang akan terjadi di masa mendatang. Hal ini sudah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya seperti Smeed dan Andreassen.

Kata kunci: kecelakaan lalulintas jalan, tingkat kecelakaan, data kecelakaan, dan faktor konversi.

ABSTRACT

The performance of road traffic safety in Indonesia is not good. It is at ninth rank from ten of ASEAN Countries (ADB – ASEAN 1999). The handling of problems is not give yet good solutions. Indonesia has to work hard to carry out the problems by using the programs to raise-up the road safety. There was a study in Bandung about conversion factor of road traffic fatal accident in year 1996 (Susilo et al). The used method in this study is to compare the number of death in several hospital with the number of death of police agency at the same period and same study area. The result is a conversion factor of 1.25 with rank 1.15 – 1.35. If the conversion factor used is 1.25 with number of death 28,470 people (police agency, 2006) and assumed the population of Indonesia is 220 million people and car ownership ratio 1:20 than the number of that 35,588 people with fatal accident rate 33 people per 10,000 vehicles. Based on the table of fatal accident rank from GTZ (Fjellstrom, 2002), so Indonesian position at 14 level after Botswana or third rank in Asia after Bangladesh and Syria. There are three agencies whose take the accident data, Police Agency (Polda and Polwil), Insurance agency (Asuransi

Jasa Raharja) and Health Agency (Dinas Kesehatan). Commonly their data is different one to other, because of differential of definition, perception, instruction, policy and interest of each agency. It is needed to be uniform data by classification and comparison of their data. By using the conversion factors their data to uniform.

Key words: road traffic accident, accident rate, data of accident, and conversion factors.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kinerja keselamatan lalulintas jalan di Indonesia berada pada peringkat sembilan dari sepuluh negara ASEAN (ADB-ASEAN, 1999). Penanganan masalah keselamatan akibat kecelakaan lalulintas jalan di Indonesia belum memberi hasil yang baik. Oleh karena itu, Indonesia perlu bekerja keras dan segera melakukan berbagai program serta tindakan untuk meningkatkan keselamatan lalulintas. Indonesia masih kurang serius dalam menangani keselamatan lalulintas, misalnya disiplin berlalulintas yang rendah, kesadaran akan keselamatan yang rendah, kompetensi petugas bidang keselamatan yang belum memadai, penegakan hukum yang belum menimbulkan efek jera, dan sistem informasi yang belum memadai pula (Pikiran Rakyat, 2006).

Khusus untuk pangkalan data kecelakaan di Indonesia, belum adanya koordinasi antar-instansi menyebabkan data korban kecelakaan lalulintas antar-instansi berbeda-beda. Belum lagi, tidak lancarnya sistem informasi membuat pencatatan korban kecelakaan pun tidak akurat. Dibandingkan dengan negara ASEAN lainnya, Indonesia merupakan negara yang paling buruk dalam sistem pencatatan informasinya. Ini terbukti dari perbedaan antara data korban mati yang dilaporkan dengan data sebenarnya (Dephub, 2004).

1.2 Maksud dan tujuan

Maksud dari kegiatan ini adalah melakukan perbandingan data – data kecelakaan yang ada di instansi – instansi terkait seperti instansi kepolisian, Jasa Raharja, dan Dinas Kesehatan.

Berdasarkan pemahaman di atas, tujuan yang ingin dicapai pada kajian ini adalah sebagai berikut:

1. Meninjau kecenderungan jumlah kecelakaan lalulintas pada suatu periode waktu tertentu termasuk kecenderungan jumlah korban mati akibat kecelakaan lalulintas.
2. Membuat metode pengembangan pengelolaan data dengan menggunakan metode penyeragaman yang pada gilirannya akan menghasilkan pangkalanda yang seragam.

3. Mengembangkan pangkalanda data kecelakaan lalulintas jalan yang terpadu sebagai landasan informasi bagi kegiatan peningkatan keselamatan lalulintas jalan di Indonesia.

1.3 Batasan Studi

Studi ini dilaksanakan dengan beberapa pembatasan. Pembatasan yang dilakukan meliputi jenis data yang dikumpulkan, cara pengumpulan data, wilayah studi, serta durasi waktu data yang akan dianalisis. Pembatasan masalah tersebut antara lain:

1. Data yang dikumpulkan merupakan data sekunder. Data tersebut mencakup level Provinsi dan Kabupaten / Kota untuk instansi-instansi terkait, seperti POLRI, Dephub, Depkes / rumah sakit, atau Asuransi Jasa Raharja.
2. Wilayah studi difokuskan di Provinsi Jawa Barat, yaitu level Provinsi dan Kabupaten / Kota secara berjenjang atau hirarki. Provinsi Jawa Barat dipilih sebagai wilayah studi karena karakteristik permasalahan yang dimilikinya, seperti tingginya jumlah dan jenis kecelakaan yang terjadi, geografi jalan, dan arus lalulintas yang bervariasi.
3. Studi ini tidak membahas sistem informasi data kecelakaan lalulintas jalan sebagai suatu proses. Pembahasan difokuskan pada cara penyeragaman data.
4. Data kecelakaan yang dibahas adalah data korban mati. Data ini dipilih karena data korban mati mempunyai catatan yang lebih baik di instansi kepolisian, dinas kesehatan/rumah sakit, dan asuransi Jasa Raharja.

2. DEFINISI KEBERADAAN KECELAKAAN LALULINTAS DI INDONESIA

Kadiyali (1975) dalam Muhtar et al (2007) mendefinisikan kecelakaan lalulintas jalan (*road accident*) sebagai tabrakan, *overtuning*, atau selip yang terjadi di jalan terbuka dan melibatkan lalulintas umum yang menyebabkan luka, kematian / fatal, atau kerusakan pada kendaraan (kerugian material).

Pasal 93 Peraturan Pemerintah No. 43 Tahun 1993 tentang Prasarana dan Lalulintas Jalan merupakan cerminan dari Kecelakaan Lalulintas Jalan di Indonesia. Pasal tersebut mendefinisikan kecelakaan lalulintas sebagai suatu peristiwa di jalan yang tidak disangka-sangka dan tidak disengaja, yang melibatkan kendaraan dengan atau tanpa pemakai jalan lainnya, serta mengakibatkan korban manusia atau kerugian harta benda. Korban kecelakaan lalulintas dapat berupa korban mati (*fatal*), korban luka berat (*serious injury*), atau korban luka ringan (*slight injury*). Pengertian dari korban kecelakaan lalulintas jalan adalah sebagai berikut:

1. Korban mati adalah korban yang dipastikan mati sebagai akibat suatu kecelakaan lalu lintas dalam waktu paling lama 30 hari sejak kejadian tersebut.
2. Korban luka berat; merupakan korban yang karena luka-lukanya menderita cacat tetap atau harus dirawat. Arti cacat tetap adalah bila suatu anggota badan hilang atau tidak dapat digunakan sama sekali dan tidak dapat pulih selama-lamanya.
3. Korban luka ringan adalah korban selain korban mati dan korban luka berat.

International Road Traffic and Accident Database (IRTAD, 1998) memberikan definisi tentang kecelakaan dan tingkat keparahannya sebanyak 27 buah sesuai dengan jumlah negara yang termasuk dalam OECD (*Organization for Economic Co-operation and Development*). Sebagai contoh adalah korban luka berat atau korban yang dirumah-sakitkan di Inggris adalah korban yang menginap di rumah sakit untuk pemeriksaan atau yang mengalami retak/patah tulang, gegar-otak, luka-dalam, remuk/hancur bagian tubuhnya, beberapa luka sobek, beberapa benturan yang perlu pengobatan, dan atau luka yang membawa kematian setelah 30 hari dari kejadian. Korban luka ringan di Inggris adalah korban yang mengalami keseleo, luka memar, luka tergores ringan atau lecet-lecet dan kaget (*shock*) ringan yang perlu ditenangkan.

3. DATA KECELAKAAN LALULINTAS JALAN

John F. Kennedy telah memberi perhatian terhadap kecelakaan lalu lintas di jalan dengan pernyataan bahwa "*Traffic accidents are one of the greatest, perhaps the greatest, national public health problems*". WHO (1999) memprediksi bahwa ranking kecelakaan fatal di jalan sebagai penyebab kematian akan meningkat dalam periode 20 tahun mendatang, yaitu dari peringkat sembilan menjadi peringkat tiga pada tahun 2020, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Peringkat 10 Hal Penyebab Kematian Terbesar (WHO, 2004).

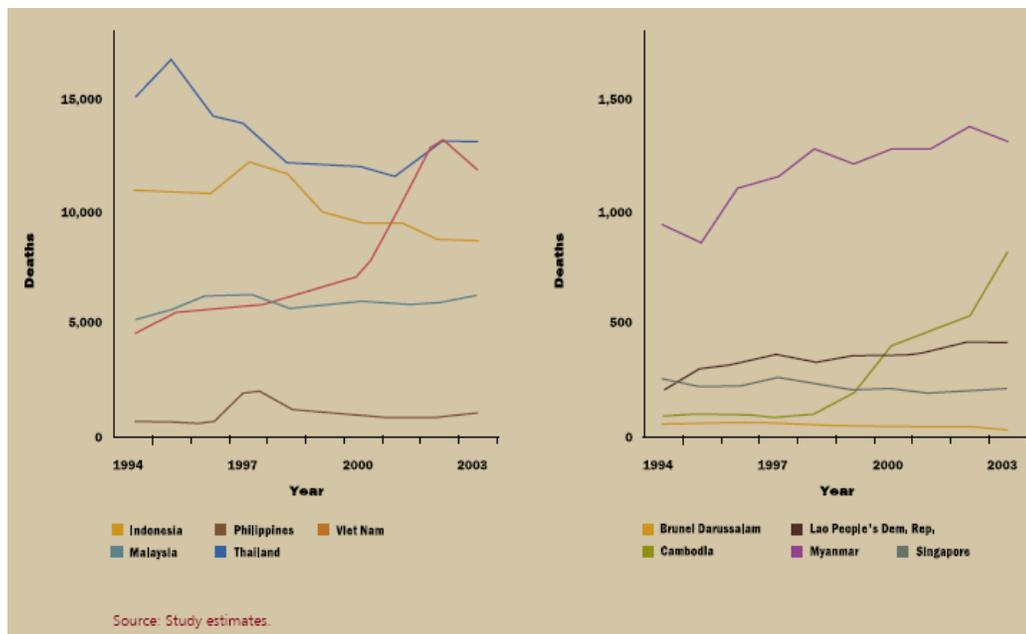
Penyakit atau Luka tahun 1998	Penyakit atau Luka tahun 2020
1. Infeksi Saluran Pernapasan	1. Penyakit Serangan Jantung
2. HIV / AIDS	2. Depresi Berat
3. Kondisi Hamil Sebelum Melahirkan	3. Luka Kecelakaan Lalulintas Jalan
4. Penyakit Diare	4. Penyakit Stroke
5. Depresi Berat	5. Penyakit Paru – Paru Kronis
6. Penyakit Serangan Jantung	6. Penyakit Saluran Pernapasan
7. Penyakit Stroke	7. TBC
8. Malaria	8. Perang
9. Luka Kecelakaan Lalulintas Jalan	9. Penyakit Diare
10. Penyakit Paru – Paru Kronis	10. HIV / AIDS

Setiap hari terjadi 3.000 kematian di jalan-jalan di dunia dan 30.000 lainnya menderita luka-luka dan cacat. Akumulasi jumlah tersebut menyatakan bahwa lebih dari satu juta orang tewas dan antara 20 juta hingga 50 juta orang menderita luka-luka dan cacat dalam kecelakaan lalulintas jalan setiap tahunnya (Tanaboriboon, 2004). Data yang ada juga menunjukkan bahwa tingkat kecelakaan lalulintas di negara-negara berkembang meningkat dari waktu ke waktu, sedangkan tingkat kecelakaan lalulintas di negara-negara maju cenderung mengalami penurunan. Hampir 86% kecelakaan tersebut terjadi di negara-negara berkembang meskipun negara-negara ini hanya memiliki 30% kendaraan di dunia. Gambar 1. menunjukkan kecenderungan jumlah korban mati yang tercatat di kepolisian di negara-negara ASEAN. Enam negara menunjukkan kecenderungan naik dan empat negara lainnya termasuk Indonesia menunjukkan kecenderungan turun.

Gambaran kecenderungan dan jumlah korban mati ini akan berbeda bila digunakan data prakiraan yang terjadi, seperti yang terlihat pada Tabel 2 Jumlah korban mati di Indonesia menjadi 30.464 orang atau hampir empat kali dari nilai yang tercatat di kepolisian (WHO, 2004). Hal ini tidak akan terjadi sekiranya sistem pencatatannya baik seperti di Malaysia, yang mempunyai angka yang sama baik yang tercatat di kepolisian maupun nilai estimasinya.

Agung (2002) menyatakan jumlah kecelakaan lalulintas di Indonesia relatif tinggi. Hal ini tidak berarti bahwa tidak ada upaya untuk mengurangi jumlah kecelakaan lalulintas tersebut. Ada beberapa alasan mengapa upaya yang dilakukan kurang berhasil. Satu di

antaranya adalah kurang atau tidak adanya upaya yang terintegrasi dalam menyelesaikan permasalahan yang ada.



Gambar 1. Kecenderungan Jumlah Korban Mati Kecelakaan Lalulintas Jalan yang Tercatat di Kepolisian di Negara-negara ASEAN (ADB, 2003).

Tabel 2. Jumlah Korban Mati dan Luka yang Tercatat di Kepolisian dan yang di Estimasi di Negara – Negara ASEAN (ADB, 2003).

Country	Police-Reported		Estimated	
	Deaths	Injuries	Deaths	Injuries
Brunei Darussalam	28	645	28	1,273
Cambodia	824	6,329	1,017	20,340
Indonesia	8,761	13,941	30,464	2,550,000
Lao People's Democratic Republic	415	6,231	581	18,690
Malaysia	6,282	46,420	6,282	46,420
Myanmar	1,308	9,299	1,308	45,780
Philippines	995	6,790	9,000	493,970
Singapore	211	7,975	211	9,072
Thailand	13,116	69,313	13,116	1,529,034
Viet Nam	11,319	20,400	13,186	30,999
Total ASEAN	43,259	187,343	75,193	4,745,578

ASEAN = Association of Southeast Asian Nations.
Source: Study estimates.

3.1 Faktor Konversi

Sebagai dasar informasi, seyogyanya data kecelakaan itu perlu mempunyai sifat-sifat yang ajeg, tidak gampang berubah, seragam, mudah diakses dan dapat ditransfer sehingga berguna bagi banyak instansi dan kalangan yang membutuhkannya, tanpa memperdebatkan lagi keabsahan dan keterandalannya. Untuk mendapatkan data yang seragam diperlukan suatu metode. Menurut IRTAD (2004), karena ketidaksamaan periode atau saat korban mati akibat kecelakaan, maka diperlukan suatu faktor koreksi untuk menentukan jumlah kecelakaan mati menurut definisi internasional. (yang menggunakan waktu standar 30 hari). Faktor konversi yang digunakan dalam pangkalanda IRTAD, berupa faktor koreksi, dapat berupa penambahan atau pengurangan nilai standar (100%), tergantung durasi waktu yang dianut oleh negara tersebut, mulai dari terjadinya kecelakaan sampai meninggalnya si korban. Faktor koreksi dari negara-negara tersebut adalah sebagai berikut:

Itali	: (7 hari) +8%.
Perancis	: 1965 (3 hari) +15%, 1970-92 (6 hari) +9%, sejak 1993 +5.7%.
Spanyol	: sebelum 1993 (24 jam) +30%.
Jerman Timur	: sampai dengan 1977 (3 hari) +15%.
Portugal	: (24 jam) +30%.
Yunani	: sebelum 1996 (3 hari) +15%.
Austria	: (3 hari) 1966 sampai dengan 1982 +15%, 1983 sampai dengan 1991 +12%.
Swiss	: sebelum 1992 (> 30 hari) -3%.
Turki	: (24 jam) +30%.
Jepang	: sebelum 1993 (24 jam) +30%.
Hongaria	: sebelum 1976 (48 jam) +20%.
Cekoslovakia	: sebelum 1980 (24 jam) +30%.
Korea Selatan	: (3 hari) +15%.

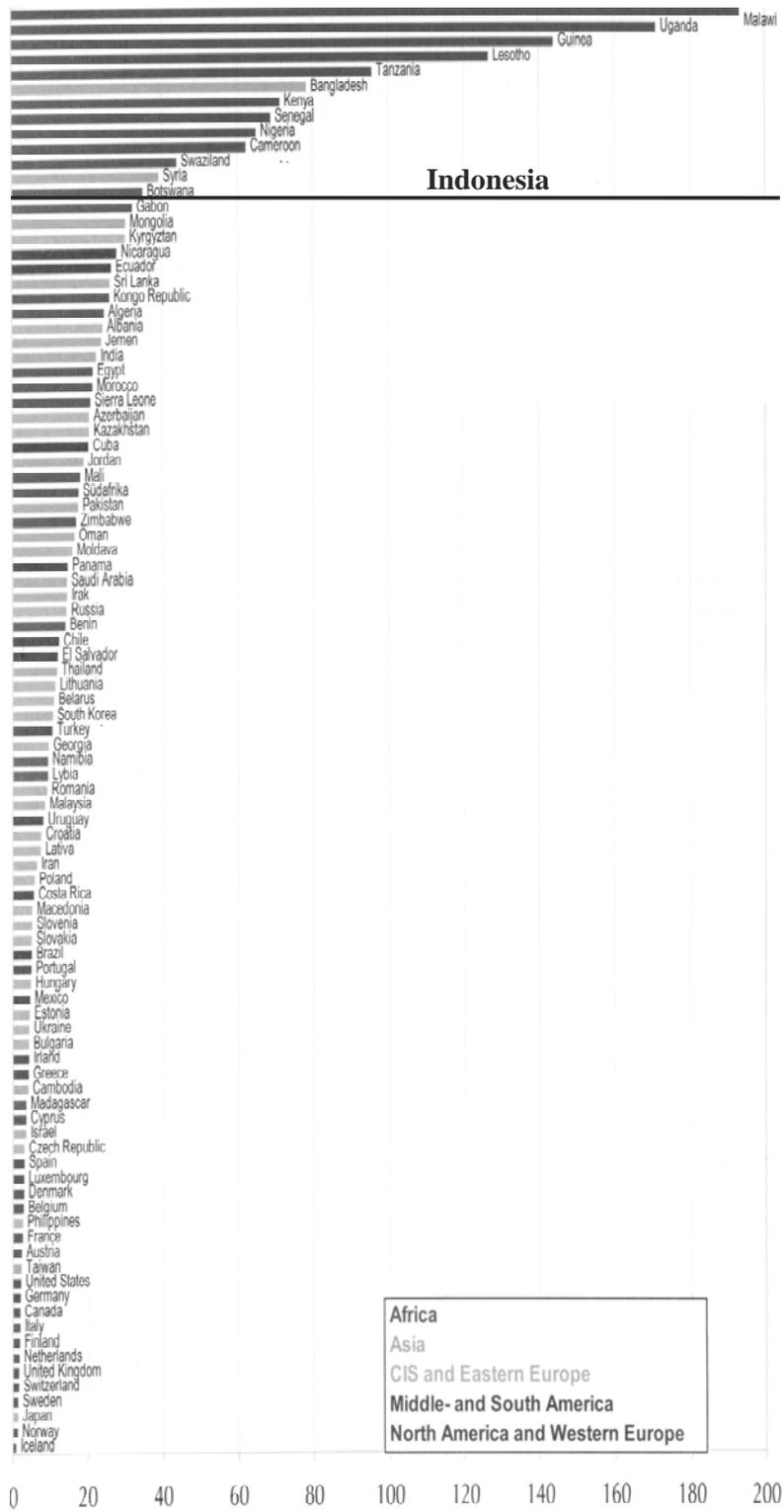
Bagi negara yang mencantumkan batasan waktu tahunnya, berarti sesudah tahun tersebut, negara itu mulai menganut definisi Internasional. Faktor konversi mati dalam waktu 6 hari sejak terjadinya kecelakaan lalulintas sebesar 9% dinyatakan oleh Hobbs (1979), O'Flaherty (1997).

Suatu kajian tentang faktor konversi data kecelakaan fatal pernah dilakukan di Bandung pada tahun 1996 (Susilo et al). Metode yang digunakan pada studi ini adalah

membandingkan data jumlah korban meninggal yang ada di rumah sakit dengan data yang ada di kepolisian untuk kecelakaan yang sama. Lima rumah sakit yang menjadi obyek pengamatan adalah Hasan Sadikin, Boromeus, Immanuel, Advent, dan Al-Islam. Studi ini menghasilkan suatu faktor konversi yang mempunyai rentang antara 1,15 hingga 1,35, dan studi ini merekomendasikan faktor konversi sebesar 1,25. Bila nilai tersebut digunakan, maka jumlah korban mati akibat kecelakaan lalulintas di Indonesia (dihitung dari saat terjadinya kecelakaan hingga 30 hari setelah kecelakaan tersebut) akan meningkat sebesar 25%. Perubahan nilai inilah yang dimaksud dengan menginternasionalisasikan data kecelakaan lalulintas jalan di Indonesia.

3.2 Peringkat Dunia Tingkat Kecelakaan Indonesia

Rasio antara jumlah kecelakaan yang ada di PT. Jasa Raharja (36.000) terhadap jumlah kecelakaan yang ada pada Kepolisian Republik Indonesia (28.470) adalah 1,26. Angka ini mendekati faktor konversi data hasil studi Susilo et al (1996). Bila faktor konversi yang digunakan adalah 1,25 dengan data kecelakaan mati 28.470 jiwa (POLRI, 2006) dan diasumsikan jumlah penduduk Indonesia 220 juta, serta rasio kepemilikan kendaraan bermotor adalah 1 : 20 maka akan didapat jumlah kecelakaan mati sebanyak 35.588 jiwa dengan tingkat kecelakaan fatal sebesar 33 jiwa per 10.000 kendaraan ($= (28.470 \times 1,25) : (220 \text{ juta} \times 1/20 \times 1/10000)$). Berdasarkan tabel peringkat kecelakaan fatal dari Fjellstrom (2002) maka Indonesia menduduki peringkat ke-14 setelah Botswana atau peringkat ketiga di Asia setelah Bangladesh dan Syria, seperti terlihat pada Gambar 2 sebagai perbandingan, negara di Asia yang mempunyai tingkat kecelakaan terkecil adalah Jepang, yaitu 1 jiwa per 10.000 kendaraan. Jepang juga menduduki peringkat ketiga terkecil di dunia, setelah Iceland dan Norwegia.



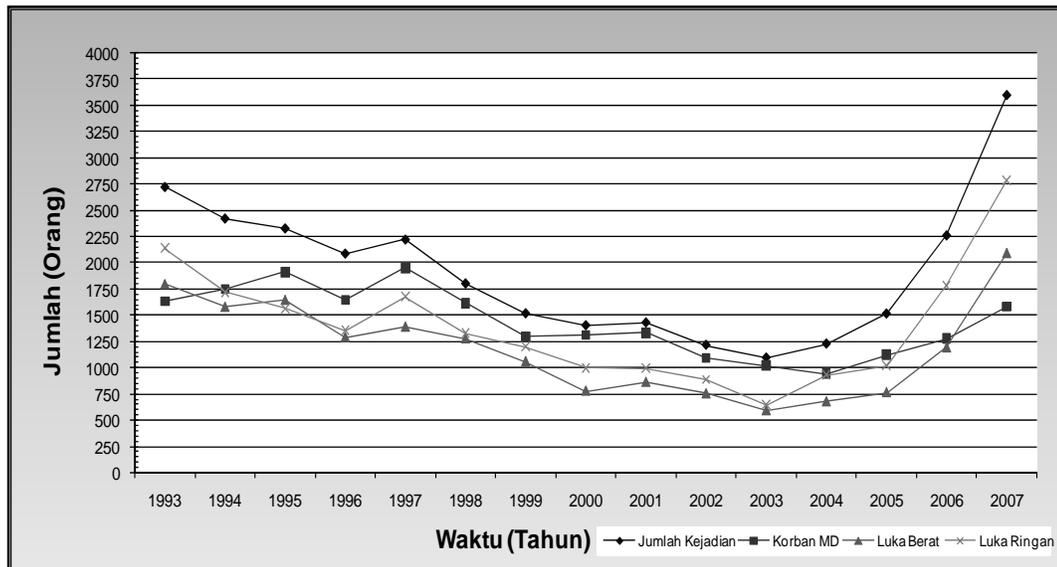
Korban Mati dalam kecelakaan lalulintas per 10000

4. PEMBAHASAN DAN ANALISA

4.1 Sumber Data Kecelakaan di Indonesia

Data yang diperoleh dari instansi terkait seperti instansi kepolisian dalam hal ini ada tiga instansi, antara lain instansi kepolisian (POLDA dan Polwitabes), Jasa Raharja dan Dinas Kesehatan. Data dari ketiga instansi tersebut diperlukan untuk dikelompokkan dan dibandingkan sehingga dapat dicari suatu faktor yang bisa menghubungkan data-data yang ada sebagai suatu kesatuan pangkalanda yang seragam (*uniform*).

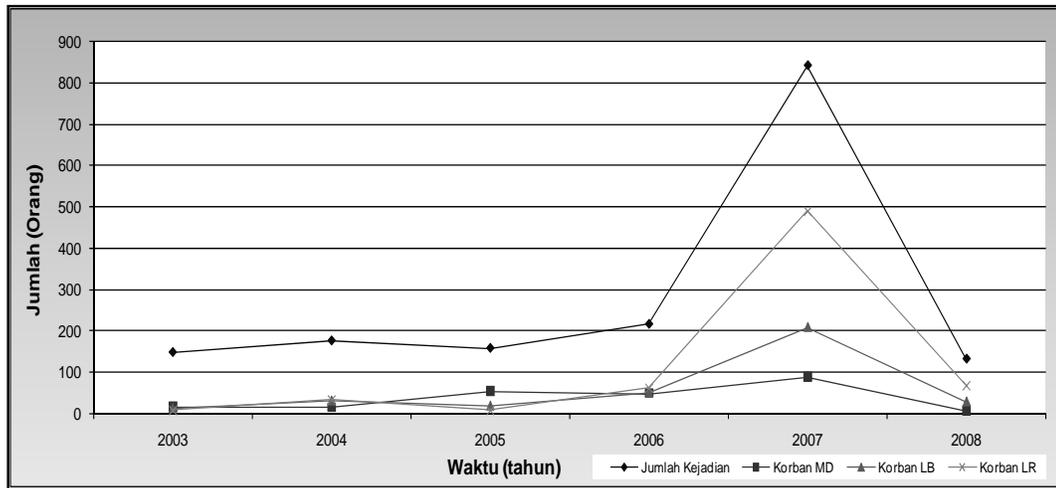
Penyeragaman data kecelakaan lalu lintas di Indonesia dilakukan karena data kecelakaan yang ada terdapat perbedaan, baik jumlah kejadian maupun jumlah korban dan nilai kerugian material. Data kecelakaan lalu lintas jalan yang diperoleh dari POLDA Jawa Barat pada kurun waktu (1993-2007) memperlihatkan terjadinya peningkatan jumlah kejadian kecelakaan sebanyak 878 kejadian, jumlah korban MD mengalami penurunan sebanyak 53 orang, jumlah korban Luka Berat mengalami peningkatan sebanyak 297 orang, jumlah korban Luka Ringan peningkatan sebanyak 651 orang, seperti yang terlihat pada Tabel 3.



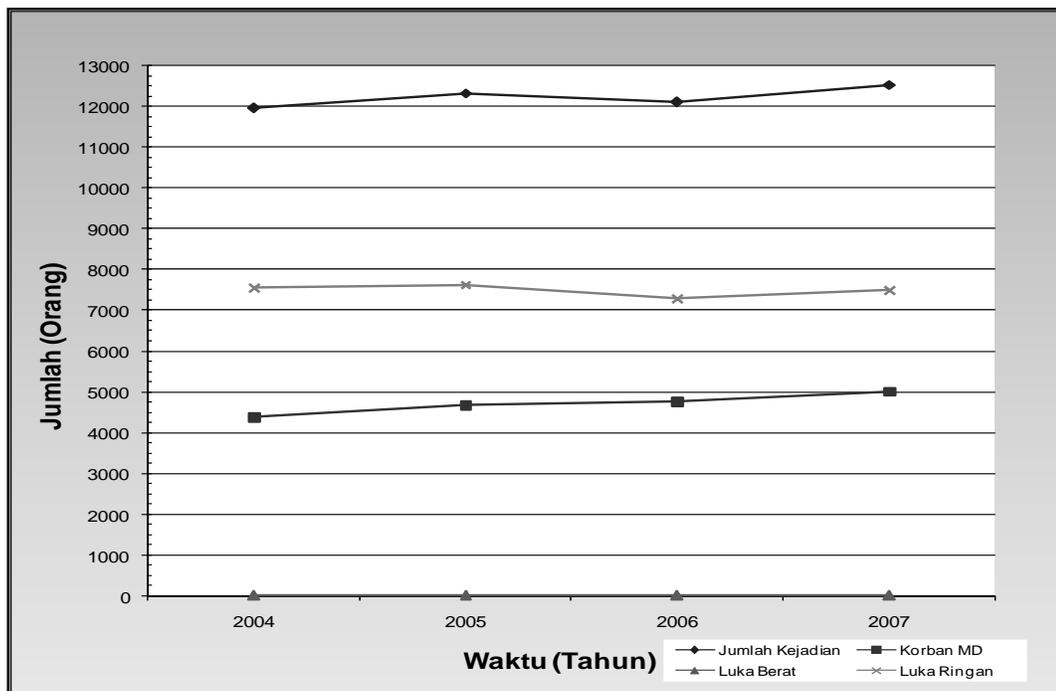
Tabel 3. Data Kecelakaan Lalu lintas Jalan di Indonesia Tahun 1993-2007 (POLDA Jawa Barat, 2008).

Data kecelakaan yang diperoleh dari Polwiltabes Bandung pada kurun waktu (2003-2008), menunjukkan pada tahun 2007 mengalami peningkatan yang signifikan. Pada Tabel 5 terlihat jumlah kejadian kecelakaan meningkat sebanyak 625 kejadian, jumlah korban MD meningkat sebanyak 40 orang, jumlah korban Luka Berat meningkat sebanyak 159 orang,

korban Luka Ringan meningkat sebanyak 427 orang. Pada Tabel 5 berdasarkan data yang didapat dari instansi Jasa Rahara Provinsi Jawa Barat terlihat jumlah kejadian kecelakaan mengalami peningkatan sebanyak 568 kejadian, jumlah korban MD mengalami peningkatan sebesar 630 korban, jumlah korban Luka Berat mengalami penurunan sebesar 7 orang, jumlah korban Luka Ringan sebesar 55 orang.

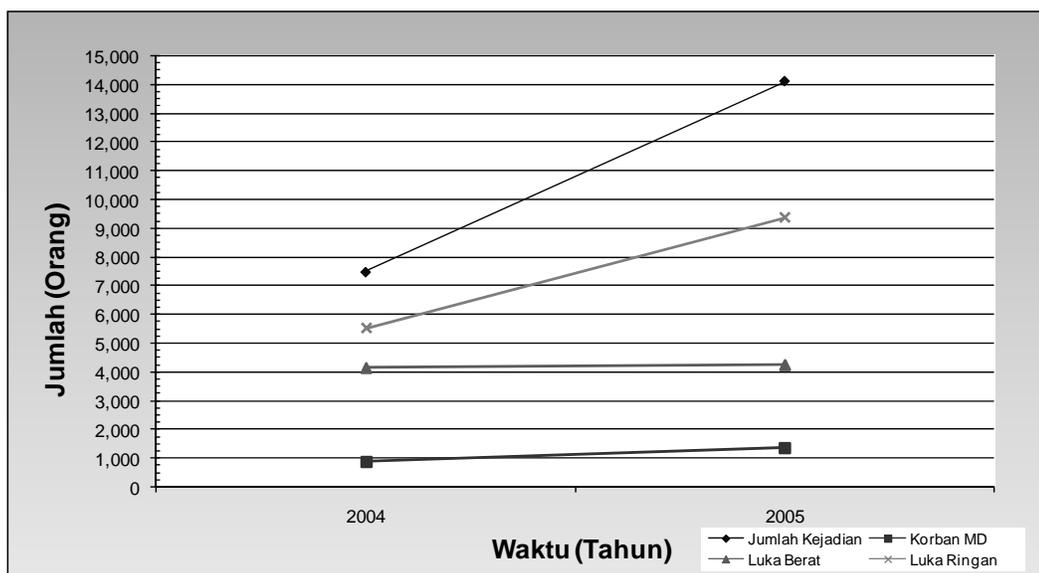


Tabel 4. Data Kecelakaan Lalulintas Jalan di Indonesia Tahun 2003-2008 (Polwitabes Bandung, 2008).



Tabel 5. Data Kecelakaan Lalulintas Jalan di Indonesia Tahun 2004-2007 (Jasa Raharja Provinsi Jawa Barat, 2008).

Tabel 6 memperlihatkan jumlah kejadian kecelakaan mengalami peningkatan sebanyak 568 kejadian, jumlah korban MD naik sebesar 630 korban, jumlah Luka Berat turun sebesar 7 korban, jumlah Luka Ringan turun sebesar 55 korban.



Tabel 6. Data Kecelakaan Lalulintas Jalan di Indonesia Tahun 2004-2005 (Dinas Kesehatan Provinsi Jawa Barat, 2008).

Dari data kecelakaan di atas dapat diketahui bahwa pangkalanda kecelakaan dari masing-masing instansi terdapat perbedaan dan tidak seragam berdasarkan *time series* kejadian. Hal ini dikarenakan keterbatasan data yang terekam antar-instansi terkait dan perbedaan sistem klasifikasi pencatatan jumlah korban. Oleh karena itu diperlukan suatu faktor konversi untuk menyeragamkan data yang ada berdasarkan *time series*. Selanjutnya data yang sudah lengkap dapat dibuatkan suatu persamaan untuk memprediksi kecelakaan yang akan terjadi di masa mendatang. Hal ini sudah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya seperti Smeed dan Andreassen.

4.2 Penyesuaian Data Kecelakaan di Indonesia

Data yang bersumber sama dari POLRI akan menjadi sangat berbeda bila dibandingkan dengan data yang bersumber dari Jasa Raharja. Permasalahan ini tidak akan tuntas mengingat definisi dari tingkat keparahan korban adalah berbeda. Pemahaman luka mati bagi POLRI adalah korban yang mati di tempat sedangkan pemahaman luka mati bagi Jasa Raharja adalah korban yang mati sejak kejadian sampai 6 bulan kemudian sebagai batas waktu *claim*. Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh PT. Jasa Raharja (Pikiran Rakyat,

2006) yang diakses tanggal 15 Nopember 2007, pada tahun 2005 terdapat 36.000 orang meninggal karena kecelakaan lalu lintas. Untuk tahun yang sama, Kepolisian Republik Indonesia menyatakan terjadi korban meninggal akibat kecelakaan lalu lintas sebanyak 28.470 jiwa. Perbandingan jumlah kecelakaan pada Jasa Raharja terhadap jumlah kecelakaan pada kepolisian adalah $36.000 : 28.470 = 1,26$. Rupanya faktor perbandingan ini tidak beda jauh dari hasil studi yang pernah dilakukan oleh Jurusan Teknik Sipil UKM dengan rentang nilai konversi tingkat kecelakaan adalah 1,25 antara data rumah sakit terhadap data kepolisian di kota Bandung.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Data yang diperoleh dari instansi terkait seperti instansi kepolisian dalam hal ini ada tiga instansi, antara lain instansi kepolisian (POLDA dan Polwitabes), Jasa Raharja dan Dinas Kesehatan. Data dari ketiga instansi tersebut diperlukan untuk dikelompokkan dan dibandingkan sehingga dapat dicari suatu faktor yang bisa menghubungkan data-data yang ada sebagai suatu kesatuan pangkal data yang seragam (*uniform*).

Berdasarkan data kecelakaan dari instansi kepolisian, Jasa Raharja, dan Dinas Kesehatan dapat diketahui bahwa pangkal data kecelakaan dari masing-masing instansi terdapat perbedaan dan tidak seragam berdasarkan *time series* kejadian. Hal ini dikarenakan keterbatasan data yang terekam antar-instansi terkait dan perbedaan sistem klasifikasi pencatatan jumlah korban. Oleh karena itu diperlukan suatu faktor konversi untuk menyeragamkan data yang ada berdasarkan *time series*. Selanjutnya data yang sudah lengkap dapat dibuatkan suatu persamaan untuk memprediksi kecelakaan yang akan terjadi di masa mendatang. Hal ini sudah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya seperti Smeed dan Andreassen.

Data yang bersumber sama dari POLRI akan menjadi sangat berbeda bila dibandingkan dengan data yang bersumber dari Jasa Raharja. Permasalahan ini tidak akan tuntas mengingat definisi dari tingkat keparahan korban adalah berbeda. Pemahaman luka mati bagi POLRI adalah korban yang mati di tempat sedangkan pemahaman luka mati bagi Jasa Raharja adalah korban yang mati sejak kejadian sampai 6 bulan kemudian sebagai batas waktu *claim*. Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh PT. Jasa Raharja (Pikiran Rakyat, 2006) yang diakses tanggal 15 Nopember 2007, pada tahun 2005 terdapat 36.000 orang meninggal karena kecelakaan lalu lintas. Untuk tahun yang sama, Kepolisian Republik Indonesia menyatakan terjadi korban meninggal akibat kecelakaan lalu lintas sebanyak

28.470 jiwa. Perbandingan jumlah kecelakaan pada Jasa Raharja terhadap jumlah kecelakaan pada kepolisian adalah $36.000 : 28.470 = 1,26$.

5.2 Rekomendasi

Dalam upaya peningkatan kualitas pangkalandata kecelakaan lalulintas di Indonesia, maka dapat dilakukan beberapa hal berikut ini:

1. Perlunya penyesuaian pangkalandata kecelakaan lalulintas jalan di Indonesia.

Melakukan penyeragaman pangkalandata kecelakaan lalulintas jalan di Indonesia diperlukan untuk mendapatkan suatu persamaan analisa yang dapat digunakan sebagai salah satu cara untuk mengurangi tingkat kecelakaan lalulintas jalan di Indonesia.

2. Strategi Keselamatan Transportasi Jalan di Indonesia

Strategi 5E (*Engineering, Education, Enforcement, Emergency Medical Services, Evaluation*), secara umum dikenal program penanganan keselamatan dengan 3E (*Engineering, Education, Enforcement*), kemudian dikembangkan di Turki dengan 5E, menambahkan betapa pentingnya *Emergency Medical Services* dan *Evaluation* sebagai E yang ke 4 dan ke 5. Mereka memprogramkan dengan aktivitas penolongan via helikopter bagi korban di kota-kota besar karena disadari setiap detik sangat berharga bagi mati hidupnya si korban. Evaluasi diperlukan dalam rangka siklus dinamis sebagai perbaikan kegiatan dari tahun ke tahun.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Direktorat Samapta Polri, (1990). *Peranan POLRI Dalam Menanggulangi Daerah Rawan Dan Sistim Laporan Kecelakaan Lalulintas*, Sub Direktorat Lalulintas, Jakarta.
2. Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, (2006). *Data Lalulintas Jalan di Indonesia Tahun 2002-2006*, Departemen Perhubungan, Jakarta.
3. Fjellstrom, K., (2002). *Urban Road Safety*, GTZ – Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy – Makers in Developing Cities, module 5b, Eschborn.
4. Hobbs, F.D., (1979). *Traffic Planning & Engineering*, 2nd ed, University of Birmingham, Pergamon Press, Oxford.
5. O’Flaherty, C.A., (1997). *Transport Planning and Traffic Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY.
6. Pikiran Rakyat, (2006). *Kecelakaan Motor Kian Meningkat*, (www.pikiran-rakyat.com, diakses tanggal 12 Nopember 2007), Bandung.

7. Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, (2007). *Data Lalulintas Jalan di Indonesia Tahun 1971-2006*, Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum, Bandung.
8. Rudy, Th. Z., (2006). *Integrasi Aspek Keselamatan Dalam Perencanaan Prasarana Dan Sarana Transportasi Melalui Revolusi Transportasi*, Makalah, Save Indonesia From Corruption, FSTPT 17-18 November 2006, Malang.
9. Santosa, W., (2003). *Strategi Peningkatan Keselamatan Lalulintas di Jalan Raya*, Orasio Dies Natalies ke-43, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.
10. Somasundaraswaran, A. K., (2006). *Accident Statistics in Srilangka*, IATSS Research, Publication, Tokyo (www.iatss.or.jp, diakses tanggal 15 Nopember 2007).
11. Susilo, B.H., (2008). *Internasionalisasi Data Kecelakaan Lalulintas di Indonesia*, Seminar Bidang Kajian, Program Doktor Ilmu Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.
12. Susilo, B.H., Sumarwan, Lesmana., (1996). *Menentukan Faktor Konversi Tingkat Kecelakaan Lalulintas di Kota Bandung*, Topik Khusus, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Kristen Maranatha, Bandung.
13. Susilo, B.H., (2008). *Perbandingan Data Kecelakaan Lalulintas Jalan di Indonesia, Thailand, dan Srilangka*, Seminar Bidang Kajian, Program Doktor Ilmu Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.
14. Susilo, B.H., (2008). *Upaya Meningkatkan Keselamatan Jalan di Indonesia*, Seminar Bidang Kajian, Program Doktor Ilmu Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.
15. Tanaboriboon, Y., Satiennam, T., (2004). *Traffic Accidents in Thailand*, IATSS Research, Publication, Tokyo (www.iatss.or.jp, diakses tanggal 15 Nopember 2007).
16. Wikimedia Foundation, Inc., (2007). *Jumlah Penduduk di Bangladesh*, (www.wikipedia.co.id, diakses tanggal 5 Desember 2007).

PEDOMAN PENULISAN JURNAL TEKNIK SIPIL UNIVERSITAS KRISTEN MARANATHA

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