

JURNAL TEKNIK SIPIL

Analisis Lalulintas Pertemuan Jalan Raya dengan Lintasan Kereta Api Jalan Urip Sumoharjo di Surakarta
(*Suwardi*)

Pemanfaatan Kolam Retensi dan Sumur Resapan pada Sistem Drainase Kawasan Padat Penduduk
(*Doddy Yudianto, Andreas F.V. Roy*)

Metode Konstruksi *Precast Segmental Balanced Cantilever* (Studi Kasus Jalan Layang Pasupati – Bandung)
(*Sugito Liono*)

Beban Pencemaran Sumber Limbah di Sungai Code
(*Titiek Widyasari*)

Perencanaan Struktur Rangka Baja Beraturan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 02-1726-2002 dan FEMA 450
(*Yosafat Aji Pranata, Calvein Haryanto*)

J. Tek.Sipil	Vol. 5	No. 2	Hlm.93-169	Bandung, Oktober 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** : Dr. Ir. Budi Hartanto Susilo, M.Sc.
Anang Kristianto, ST., MT.
Andrias Suhendra Nugraha, ST., MT
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 Lalulintas Pertemuan Jalan Raya dengan Lintasan Kereta Api Jalan Urip Sumoharjo di Surakarta (<i>Suwardi</i>)	93 - 102
Pemanfaatan Kolam Retensi dan Sumur Resapan pada Sistem Drainase Kawasan Padat Penduduk (<i>Doddy Yudianto, Andreas F.V. Roy</i>)	103 - 121
Metode Konstruksi <i>Precast Segmental Balanced Cantilever</i> (Studi Kasus Jalan Layang Pasupati – Bandung) (<i>Sugito Liono</i>)	122 - 143
Beban Pencemaran Sumber Limbah di Sungai Code (<i>Titiek Widyasari</i>)	144 - 154
Perencanaan Struktur Rangka Baja Beraturan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 02-1726-2002 dan FEMA 450 (<i>Yosafat Aji Pranata, Calvein Haryanto</i>)	155 - 169

ANALISIS LALULINTAS PERTEMUAN JALAN RAYA DENGAN LINTASAN KERETA API JALAN URIP SUMOHARJO DI SURAKARTA

Suwardi

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Pabelan Kartosuro Tromol Pos 1 Telp. (0271)71741 Pes.221 Fax. (0271)715448
Hp. 08122638174, home 0271 727508; e-mail: isma_chan@yahoo.co.id

ABSTRACT

Urip Sumoharjo street is represent main road in Surakarta town. The Road which its very solid often happened when there is train which pass by quickly, because the road there is crossed train trajectory a piece of by way is great. When the train pass, the road happened very long queue. From above mentioned problem hence needing analysis about traffic characteristic which its about train trajectory. With analysis meant to give input all related side, so that the road do not happened queue and jam. Target of research is to knowing level service, to analysis the big delay, queue, the big loss when train moment pass. The method is used analytical discription. Result of analysis can be concluded as follows: service level of Urip Somoharja street are mean C and B, the delay train moment pass by quickly mean 178.85 second, amount of queue southerly mean 36.5 smp/trajectory, northwards 39.0 smp/trajectory. Amount of delay north and south are 239.34 smp hour/day or 86162.4 smp hour/year. The loss of time if calculated with rupiah equal is Rp. 3.446.498.000,00/year, loss of fuel Rp. 39.317.400,00/year, loss of fuel and time equal to Rp. 3.485. 815. 400,00 / year. In range of time 10 loss year counted Rp. 34.858.154.000,00/10 year. So that time has come at trajectory woke up with fly over.

Keywords: Delay, Queue, Trajectory Train.

ABSTRAK

Jalan Urip Sumoharjo merupakan jalan utama di kota Surakarta. Jalan yang lalulintasnya sangat padat tersebut sering terjadi kemacetan pada waktu ada kereta api yang melintas, karena jalan tersebut ada lintasan kereta api yang menyilang sebidang dengan jalan raya. Pada waktu kereta api melintas terjadi antrian yang sangat panjang. Dari masalah tersebut di atas maka perlu analisis tentang karakteristik lalulintas yang kaitannya dengan lintasan kereta api. Dengan analisis dimaksudkan untuk memberi masukan semua pihak yang terkait, sehingga jalan tersebut tidak terjadi kemacetan dan antrian. Tujuan penelitian adalah: mengetahui tingkat pelayanan, menganalisis besar tundaan (*delay*), antrian, besar kerugian saat kereta api melintas. Metode yang digunakan diskriptis analitis. Hasil analisis dapat disimpulkan sebagai berikut: tingkat pelayanan Jalan Urip Somoharja rata-rata C dan B, besar tundaan (*delay*) saat kereta api melintas rata-rata 178.85 detik, jumlah antrian ke arah selatan rata-rata 36.5 smp/lintasan, ke arah utara 39.0 smp/lintasan. Jumlah Tundaan ke utara dan ke selatan 239.34 smp jam/ hari atau 86162.4 smp jam/tahun. Kerugian waktu bila dihitung dengan rupiah sebesar Rp. 3.446.498.000,00/tahun, kerugian BBM Rp. 39.317.400,00/tahun, kerugian waktu dan BBM sebesar Rp. 3.485.815.400,00/tahun. Dalam kurun waktu 10 tahun kerugian sebanyak Rp. 34.858.154.000,00/10 tahun. Sehingga sudah saatnya pada perlintasan dibangun *Fly Over*.

Kata Kunci: Tundaan, Antrian, Lintasan Kereta Api.

1. PENDAHULUAN

Jalan Urip Sumoharjo merupakan jalan utama di kota Surakarta. Ruas jalan tersebut membentang ke arah Utara dan Selatan di tengah kota surakarta yang lalulintasnya sangat padat. Karena jalan tersebut merupakan akses masuk dan keluar kota Surakarta. Jalan yang lalulintasnya sangat padat tersebut sering terjadi kemacetan pada waktu ada kereta api yang melintas, karena jalan tersebut ada lintasan kereta api yang menyilang sebidang dengan jalan raya. Pada waktu kereta api menyilang akan terjadi antrian yang sangat panjang baik dari arah timur maupun arah dari Barat. Dari masalah tersebut di atas maka perlu adanya analisis tentang karakteristik lalulintas yang kaitannya dengan lintasan kereta api. Dengan analisis lalulintas ini dimaksudkan untuk memberi masukan semua pihak yang terkait sehingga pada yang masa yang akan datang ada solusi sehingga jalan tersebut tidak terjadi kemacetan dan antrian yang sangat panjang. Karena dengan adanya tundaan waktu perjalanan semua aktivitas menjadi terganggu.

Dari masalah tersebut di atas dapat dirumuskan sebagai berikut: seberapa besar tundaan (*delay*), jumlah antrian, besar kerugian saat kereta api melintas dan tingkat pelayanan Jalan Urip Sumoharjo Surakarta. Tujuan penelitian adalah: menganalisis tundaan (*delay*), jumlah antrian, besar kerugian saat kereta api melintas dan tingkat pelayanan Jalan Urip Sumoharjo Surakarta. Manfaat penelitian sebagai masukan pada instansi terkait untuk acuan dalam perencanaan dan pembangunan lintasan, yang selanjutnya tidak akan menimbulkan kemacetan pada lintasan, khususnya pada lintasan kereta api Jalan Urip Sumoharjo Surakarta

2. TINJAUAN PUSTAKA

Kapasitas jalan adalah jumlah kendaraan maksimum yang dapat melewati pada suatu ruas jalan atau seluruh jalur jalan, selama jangka waktu tertentu dan dalam keadaan jalan serta lalulintas yang tertentu pula. Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia [MKJI, 1996] besarnya kapasitas dipengaruhi oleh kapasitas dasar, faktor penyesuaian kapasitas akibat lebar jalur lalu lintas, faktor penyesuaian kapasitas akibat pemisahan arah serta faktor penyesuaian kapasitas akibat hambatan samping. Maka penentuan kapasitas pada kondisi sesungguhnya dapat dihitung dengan rumus:

$$C = C_o \times FC_W \times FC_{SP} \times FC_{SF} \times FC_{CS} \quad (1)$$

dengan:

C = kapasitas (smp/jam)

C_o = kapasitas dasar (smp/jam)

- FC_w = faktor penyesuaian akibat lebar jalur lalu lintas
- FC_{SP} = faktor penyesuaian akibat pemisahan
- FC_{SF} = faktor penyesuaian hambatan samping
- FC_{CS} = faktor penyesuaian ukuran kota

Kecepatan rata-rata waktu adalah rata-rata aritmatik dari kecepatan kendaraan yang melewati sebuah titik selama interval waktu yang ditentukan. Dengan rumus seperti:

$$\overline{U}_t = \frac{1}{n} \sum \overline{U} \quad (2)$$

dengan:

- \overline{U}_t = *time mean speed*, kecepatan rata-rata waktu (km/jam)
- n = banyak data
- $\sum U$ = kecepatan rata-rata (km/jam)

Volume lalulintas adalah jumlah kendaraan yang melewati suatu titik per satuan waktu pada lokasi tertentu. Untuk mengukur jumlah arus lalulintas, biasanya dinyatakan dalam kendaraan per hari, satuan mobil penumpang per jam, kendaraan per menit [Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1996].

$$V = MC. emp + LV. emp + HV. Emp \quad (3)$$

dengan:

- MC = sepeda Motor = 0,25
- LV = mobil penumpang = 1,00
- HV = kendaraan berat = 1,20
- V = volume lalulintas

Kepadatan adalah jumlah kendaraan per satuan panjang jalan tertentu. Satuannya adalah kendaraan per kilometer.

$$\text{Kepadatan} = D = \frac{\text{jumlah rata - rata kendaraan melewati } x}{x} \quad (4)$$

dengan:

- D = kepadatan, jumlah kendaraan yang melewati panjang tertentu dari suatu jalan (kend./km)
- X = panjang jalan (km)

Kepadatan juga sama dengan volume dibagi dengan kecepatan ruang waktu (*space mean speed*), seperti pada persamaan berikut:

$$D = \frac{V}{SMS} \quad (5)$$

dengan:

D = kepadatan (kendaraan/km)

V = volume (kendaraan/km)

SMS = *space mean speed* (km/jam)

Derajat kejenuhan didefinisikan sebagai rasio arus terhadap kapasitas, digunakan sebagai faktor utama dalam penentuan tingkat kinerja simpang dan segmen jalan. Nilai derajat kejenuhan menunjukkan apakah segmen jalan tersebut mempunyai masalah kapasitas atau tidak.

$$DS = \frac{Q}{C} \quad (6)$$

(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia)

dengan:

DS = derajat kejenuhan

C = kapasitas (smp/jam)

Q = arus lalulintas (smp/jam)

Tingkat pelayanan jalan adalah suatu ukuran kualitas yang menguraikan kondisi operasional lalulintas dan tanggapan dari pengemudi yang diperlukan untuk menaksir derajat kepadatan lalulintas pada fasilitas jalan raya.

Tundaan adalah waktu yang hilang dimana lalulintas terganggu oleh beberapa elemen. Tundaan akibat henti (*stopped delay*) adalah tundaan yang terjadi pada kendaraan dengan kendaraan tersebut berada dalam kondisi benar-benar berhenti pada kondisi mesain hidup (*stasioner*). Kondisi ini bila berlangsung lama akan mengakibatkan suatu kemacetan (*kongestion*). Penundaan mencerminkan waktu yang tidak produktif dan bila dinilai dengan uang, maka hal ini menunjukkan jumlah biaya yang harus dibayar masyarakat karena memiliki jalan yang tidak memadai [Hobbs, 1979].

Tundaan dalam MKJI disebutkan merupakan waktu tempuh tambahan yang diperlukan untuk melalui simpang apabila dibandingkan lintasan tanpa melalui simpang. Tundaan terdiri dari tundaan lalulintas dan tundaan geometrik. Tundaan lalulintas (*Vehicle Interaction Delay*) adalah waktu menunggu yang disebabkan oleh interaksi lalulintas dengan

gerakan lalu lintas yang bertentangan. Tundaan geometrik (*geometrik delay*) adalah disebabkan oleh keterlambatan dan percepatan kendaraan yang membelok pada simpang atau yang berhenti oleh lampu merah. Total tundaan yang diperhitungkan termasuk geometrik delay dan *Vehicle Interaction Delay*.

Penundaan karena berhenti menimbulkan selisih waktu antara kecepatan perjalanan (*journey speed*) dan kecepatan bergerak (*running speed*). Tundaan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$t_s = t_2 - t_1 \quad (7)$$

dengan:

- t_s = tundaan (detik)
- t_2 = waktu tempuh saat palang ditutup (detik)
- t_1 = waktu tempuh saat palang dibuka (detik)

Menurut Priyanto dalam Prayogo (1999) menyebutkan dalam melakukan pengamatan dari kondisi antrian kendaraan, akan terlihat bahwa pengemudi kendaraan akan menghentikan kendaraannya dengan suatu jarak yang bervariasi dari *stop line* sampai kendaraan terakhir dari antrian. Panjang antrian diukur dimulai saat pintu lintasan ditutup sampai lintasan dibuka, untuk menghitung panjang antrian adalah sebagai berikut:

$$NQ = \sum n/n \quad (8)$$

dengan:

- NQ = jumlah antrian rata-rata (smp)
- $\sum n$ = jumlah keseluruhan kendaraan dalam antrian (smp)
- N = jumlah lintasan ditutup

Kebutuhan Bahan Bakar Minyak:

$$\text{Basic Fuel} = 0,0297 \cdot V^2 - 3,3526 \cdot V + 153,33 \text{ liter/1000km} \quad (9)$$

(Sumber: LAPI ITB)

3. METODE PENELITIAN

Untuk mendapatkan data sampai pada proses analisis, peneliti akan menggali data yang meliputi observasi untuk menentukan setting fisik dan lingkungan sekitarnya. Yang selanjutnya diikuti pengumpulan data sekunder dan data primer. Penelitian dilakukan di jalan Urip Sumoharjo Surakarta. Dari data primer (hasil survei) dan data sekunder dianalisis. Dari analisis tersebut akan didapatkan, volume lalu lintas dibagi kapasitas (Q/C), kecepatan,

tundaan, panjang antrian dan kerugian waktu. Kerugian bila dinilai dengan uang dan kerugian bahan bakar akibat adanya lintasan kereta api serta berapa tahun bila dibuat *fly over*.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Kapasitas Jalan Jl. Urip Sumoharjo

$$C_o = 3000 \text{ smp}$$

$$FC_w = 1,00$$

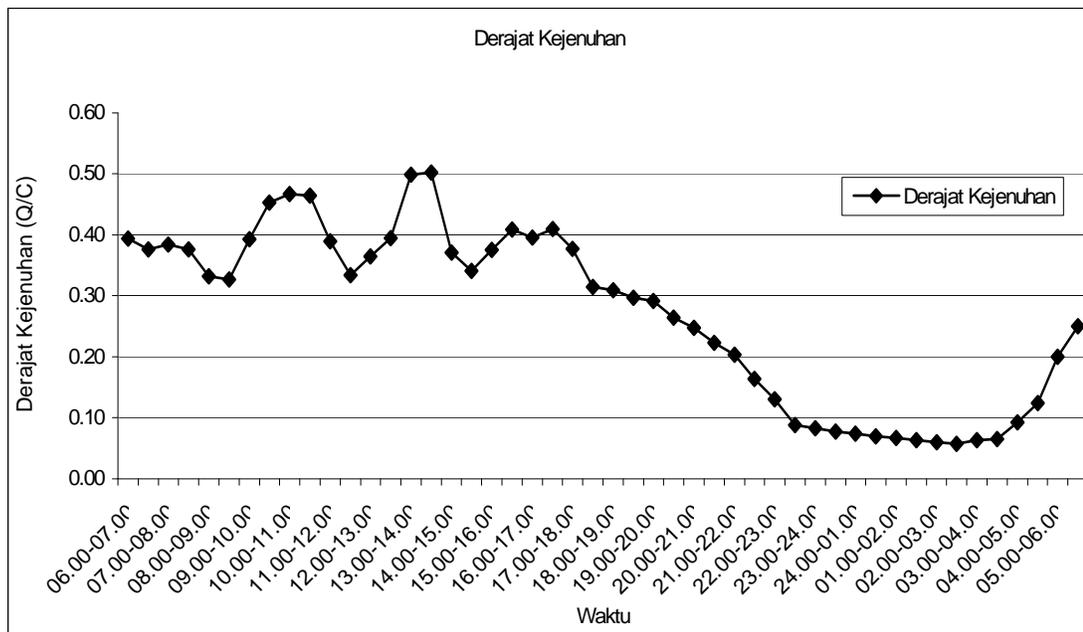
$$FC_{sf} = 1,00$$

$$FC_{cs} = 0,84$$

$$FC_{sp} = 0,94$$

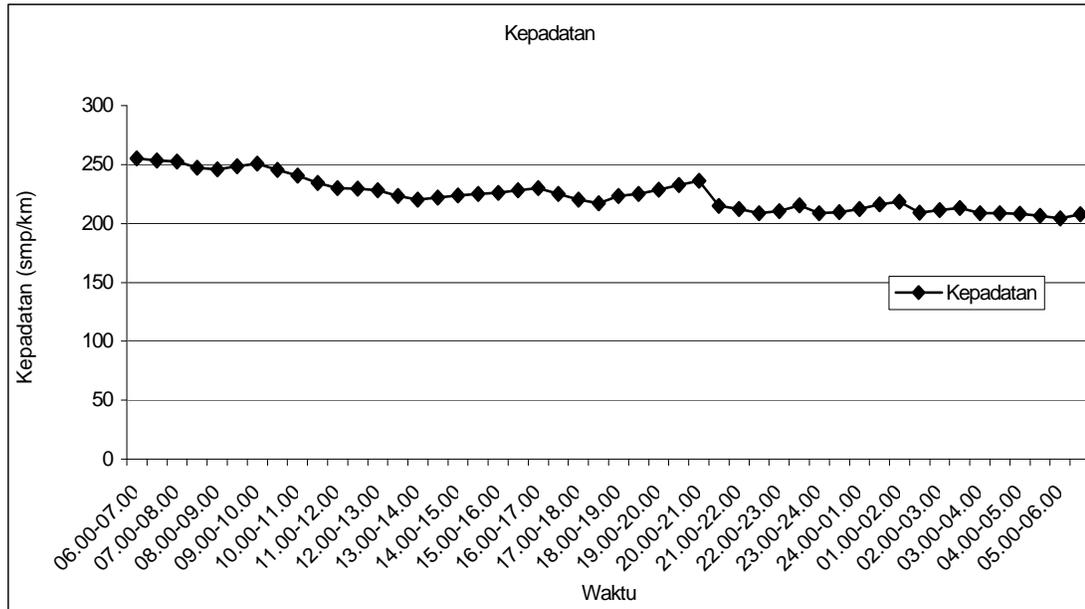
$$C = C_o \times FC_w \times FC_{sp} \times FC_{sf} \times FC_{cs}$$

$$C = 3000 \times 1,00 \times 1,00 \times 0,84 \times 0,94 = 2368,8 \text{ smp/jam}$$



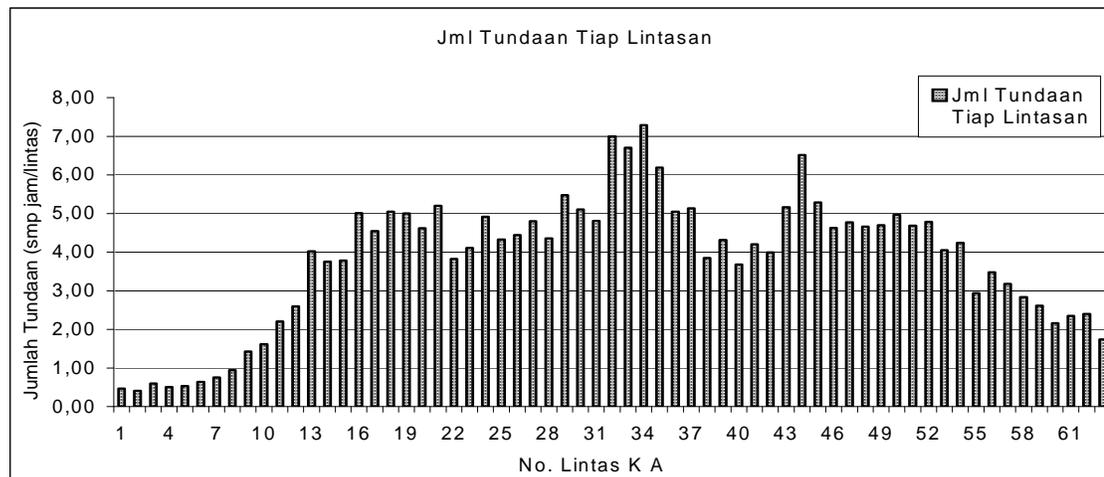
Gambar 1. Derajat kejenuhan Jalan Urip Sumoharjo.

Gambar 1 menunjukkan bahwa jalan urip Sumoharjo pada waktu siang hari rata-rata tingkat pelayanan C, waktu malam hari rata-rata tingkat pelayanan B.



Gambar 2. Tingkat kepadatan Jalan Urip Sumoharjo.

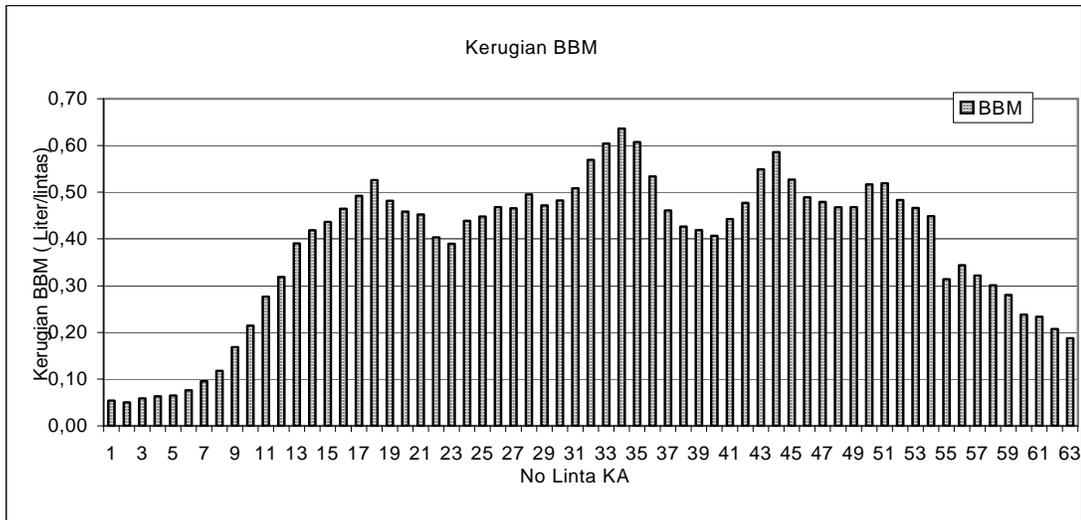
Gambar 2 menunjukkan Tingkat kepadatan pada waktu siang hari antara 68,3 sampai 112,4 kend/km, pada waktu malam hari antara 12,2 sampai 69 kend/km.



Gambar 3. Tundaan kendaraan tiap-tiap kereta api melintas.

Gambar 3 menunjukkan bahwa jumlah tundaan dua arah yaitu arah Utara dan arah Selatan = $149,01 + 90,33 = 239,34$ smp jam/hari. Tundaan dalam satu tahun = $360 \times 239,34$

= 86162,4 smp jam/tahun. Asumsi 1 satuan mobil penumpang jumlah penumpang 4 penumpang. Asumsi semua yang lewat dalam 1 jam dinilai dengan uang Rp. 10.000,00. Jumlah kerugian dalam 1 tahun akibat lintasan kereta api = 86162,4 x 4 orang x Rp. 10.000,00 = Rp. 3.446.498.000,00



Gambar 4. Kerugian bahan bakar minyak akibat adanya lintasan kereta Api sebanyak.

Gambar 4 menunjukkan kerugian bahan bakar minyak akibat adanya lintasan kereta api lalulintas 2 arah (ke Utara dan Selatan) sebanyak = 14,92 + 9,35 = 24,27 liter/hari. Dalam 1 tahun = 24,27 liter x 360 hari = 8737,2 liter/tahun. Kerugian kerugian bahan bakar minyak akibat adanya lintasan kereta Api setiap tahun bila dalam rupiah adalah = 8737,2 liter x Rp. 4.500,00 = Rp. 39.317.400,00. Kerugian waktu dan bahan bakar minyak akibat lintasan kereta api sebidang setiap tahun adalah = Rp. 3.485.815.400,00 (tiga milyar empat ratus delapan puluh lima juta delapan ratus lima belas ribu rupiah).

5. KESIMPULAN

Penelitian Pagaruh Lintasan Kereta api Terhadap Lalulintas Jalan Urip Sumoharjo Surakarta dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tingkat pelayanan Jalan Urip Sumoharjo rata-rata C dan B. Tingkat kepadatan pada waktu siang hari antara 68,3 sampai 112,4 kend/km, pada waktu malam hari antara 12,2 sampai 69 kend/km.

2. Besar tundaan (*delay*) saat kereta api melintas pada lintasan Jalan Urip Sumoharjo Pangung rata-rata tundaan 178,85 detik.
3. Jumlah antrian pada saat kereta api melintas pada lintasan di Jalan Urip Sumoharja ke arah Utara jumlah antrian rata-rata 36,5 smp tiap lintasan sedang ke arah Selatan jumlah antrian rata-rata 39,0 smp tiap lintasan.
4. Jumlah Tundaan Dua Arah ke Utara dan Selatan 239,34 smp jam/hari dan dalam satu tahun = 86162,4 smp jam/tahun.
5. Besar kerugian yang ditanggung para pengguna bila waktu dinilai dengan uang pada saat kereta api melintas pada lintasan di Jalan Urip Sumoharjo Pangung dalam 1 Tahun Akibat Lintasan Kereta Api sebesar Rp. 3.446.498.000,00/tahun.
6. Kerugian kerugian bahan bakar minyak akibat adanya lintasan kereta api setiap tahun bila dalam rupiah Rp. 39.317.400,00/tahun. Kerugian waktu dan bahan bakar minyak akibat lintasan kereta api sebidang setiap tahun adalah = Rp. 3.485.815.400,00/tahun (tiga milyar empat ratus delapan puluh lima juta delapan ratus lima belas ribu empat ratus rupiah/tahun).
7. Dalam kurun waktu 10 tahun Kerugian waktu dan bahan bakar minyak akibat lintasan kereta api sebidang setiap tahun adalah = Rp. 34.858.154.000/tahun (tiga puluh empat milyar delapan ratus lima puluh delapan juta seratus lima puluh empat ribu rupiah/10tahun). Sehingga sudah saatnya pada perlintasan dibangun *Fly Over*.
8. Dalam satu tahun mengalami tundaan akibat kereta api sebanyak = 86162.4 smp jam/tahun, kerugian waktu sebesar Rp. 3.446.498.000,00/tahun, kerugian BBM Rp. 39.317.400,00/tahun, kerugian waktu dan BBM sebesar Rp. 3.485.815.400,00/tahun, dalam kurun waktu 10 tahun sebanyak Rp. 34.858.154.000,00/10 tahun. Sehingga sudah saatnya pada perlintasan dibangun *Fly Over*.

DAFTAR PUSTAKA

1. _____.1990. *Peraturan pemerintah No. 22 Tentang Penyerahan Sebagian Urusan Pemerintah Dalam Bidang lalulintas dan Angkuta, Dati I dan dati II*, Jakarta.
2. _____.1993. *Peraturan pemerintah No. 41 Tentang Lalulintas dan Angkutan*, Jakarta.
3. _____.1993. *Peraturan pemerintah No. 43 Tentang Prasarana dan Lalulintas Jalan*, Jakarta.
4. _____.1997. *Perencanaan Transportasi*, penerbit ITB Bandung.

5. _____.1996. *Sistem Transportasi*, penerbit Universitas Guna Darma Jakarta.
6. Departemen Perhubungan. 1992. *Undang-undang lalulintas dan angkutan jalan No. 14 tahun 1992*, Sinar Grafika Jakarta.
7. Departemen Perhubungan. 1993. *Undang-undang lalulintas dan angkutan jalan No. 43 tahun 1992*, Dirjen Perhubungan Darat, dicetak oleh yayasan telapak jalan Tebet Timur VII/6A Jakarta.
8. Departemen Perhubungan. 1996. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*, PT Bina Karya Jakarta.
9. Abubakar. 1996. *Menuju Lalulintas dan Angkutan jalan yang Tertip*, Direktorat Perhubungan Darat, Jakarta.
10. Nasution,H. 1996, *Manajemen Transportasi*, Ghalia Indonesia, Jakarta.
11. Prayogo. 1999, *Pengaruh lama Penutupan Pintu Lintasan Kereta Api terhadap Tundaan Dan Panjang antrian*, Theses S-2 MSTT UGM, Yogyakarta.
12. Tamim,O.Z. 1997, *Perencanaan dan Permodelan Transportasi*, Penerbit ITB Bandung.
13. Warpani, S. 1990, " *Merencanakan Sistem Perangkutan*", Penerbit ITB Bandung.

PEMANFAATAN KOLAM RETENSI DAN SUMUR RESAPAN PADA SISTEM DRAINASE KAWASAN PADAT PENDUDUK

Doddy Yudianto, Andreas F. V. Roy

Staff Pengajar, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik
Universitas Katolik Parahyangan, Jl. Ciumbuleuit 94, Bandung, 40141
e-mail: doddi_yd@unpar.ac.id; andrevan@home.unpar.ac.id

ABSTRACT

Change of land use in high population density area, especially enlargement of impervious area, will give direct impact to the increasing of runoff volume which at the end may result increasing of flood risk. One of the solutions to reduce the flood risk is by applying sustainable drainage system. In the western part of Bandung City where an area of 1.5 hectare was planned to be developed as 100% of impervious area for supporting the manufacture storage purposes complete with the whole related infrastructures. In the mean time, the surface runoff at that particular area is drained into 0.2 m x 0.2 m of rectangular channels with an outlet point at the surrounding residential drainage system. By developing the whole area to be impervious, the analysis result shows that the existing channels are not capable to properly drain the runoff. The channels need to be enlarged to be 0.5 m x 0.4 m at the upstream part and 0.5 m x 0.7 m at the downstream part. To provide sustainable drainage, the system is designed by combining the application of retention pond and recharging well. The analysis result shows that the application of 7.0 m x 20.0 m x 1.5 m of retention pond and recharging well of 1.25 of diameter with 10 m of depth could store 10 years period of flood and recharge the groundwater at 10 m of depth of aquifer at rate of 0.007 m³/s.

Keywords: Sustainable drainage system, Retention pond, Recharging well.

ABSTRAK

Perubahan tata guna lahan pada kawasan padat penduduk berupa peningkatan luas area kedap air akan memberikan dampak langsung pada peningkatan volume limpasan. Kondisi peningkatan volume limpasan ini berjalan seiring dengan peningkatan resiko terjadinya banjir pada kawasan tersebut. Salah satu upaya mengurangi resiko terjadinya banjir pada kawasan tersebut adalah dengan menerapkan konsep sistem drainase berkelanjutan. Sebuah lahan seluas 1,5 hektar yang terletak di kawasan padat penduduk di sisi barat Kota Bandung direncanakan akan dikembangkan seluruhnya menjadi area pergudangan lengkap dengan prasarannya. Saat ini limpasan air hujan yang terjadi dilayani oleh saluran drainase berdimensi 0,2 m x 0,2 m dengan titik keluaran pada saluran drainase kawasan permukiman sekitar. Dengan dikembangkannya seluruh lahan menjadi lapisan kedap air, hasil analisis menunjukkan bahwa saluran yang ada tidak mampu untuk menampung volume limpasan yang terjadi. Dimensi saluran drainase perlu diperbesar menjadi 0,5m x 0,4m pada bagian hulu dan 0,5m x 0,7m pada bagian hilir sistem drainase. Upaya penerapan konsep sistem drainase berkelanjutan dilakukan dengan merencanakan pemanfaatan kolam retensi dikombinasikan dengan aplikasi sumur resapan. Hasil analisis menunjukkan bahwa kombinasi pemanfaatan kolam retensi dengan dimensi 7,0m x 20,0m x 1,5m dan sumur resapan dengan dimensi jari-jari 1,25m dan kedalaman 10,0m dapat menampung volume limpasan dengan periode ulang debit banjir 10 tahun. Sistem ini sekaligus meresapkan kembali air ke dalam lapisan akuifer pada kedalaman 10 m dengan debit sebesar 0,007 m³/dt.

Kata kunci: Sistem drainase berkelanjutan, Kolam Retensi, Sumur Resapan.

1. PENDAHULUAN

Perubahan tata guna lahan sebuah kawasan akan menyebabkan terjadinya perubahan volume limpasan air hujan pada kawasan tersebut. Peningkatan volume limpasan umumnya terjadi sebagai akibat dari bertambahnya luasnya lapisan kedap air pada kawasan tersebut. Tanpa penanganan mitigasi yang memadai, fenomena peningkatan volume limpasan akan berakibat pada peningkatan resiko terjadinya genangan atau banjir pada kawasan tersebut. Kondisi menjadi semakin memburuk jika kapasitas saluran drainase yang telah ada ternyata tidak lagi mencukupi.

Sistem drainase perkotaan berkelanjutan merupakan konsep yang sepatutnya diterapkan pada proses pengembangan kawasan padat penduduk. Limpasan yang terjadi pada musim hujan pada suatu kawasan diupayakan untuk dapat dikendalikan dan dimanfaatkan kembali seoptimum mungkin termasuk upaya peresapan kembali ke dalam tanah.

Makalah ini akan membahas mengenai pemanfaatan kolam retensi yang difungsikan secara kombinasi dengan sumur resapan dalam upaya menerapkan konsep sistem drainase berkelanjutan. Dalam studi ini dipilih sebuah lahan seluas 1,5 hektar yang terletak pada kawasan padat penduduk di sisi barat Kota Bandung yang direncanakan akan dikembangkan sebagai area pergudangan yang kedap air lengkap beserta prasarananya.

2. PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN DAN SISTEM DRAINASE BERKELANJUTAN

Isu sistem drainase berkelanjutan adalah merupakan bagian kecil dari isu besar pembangunan berkelanjutan. Isu ini merupakan isu hangat yang belakangan menjadi semakin bergema sejak dicetuskannya The Earth Summit di Rio de Janeiro, Brazil pada tanggal 3-14 Juni 1992. Pada pertemuan tersebut dihasilkan 27 buah prinsip dimana prinsip ke-empat menyatakan bahwa kegiatan pembangunan harus melibatkan sekaligus upaya pelestarian lingkungan.

Pertumbuhan jumlah penduduk dan peningkatan aktivitas ekonomi dan sosial di daerah perkotaan telah memicu kegiatan pembangunan berupa penyediaan prasarana dan sarana penunjang kegiatan sosial ekonomi dengan cepat. Kondisi ini serta merta telah mendorong terjadinya perubahan tata guna lahan secara pesat pula. Namun demikian pembangunan yang dilakukan perlu tetap mempertimbangkan kelestarian dan keserasian lingkungan beserta keseimbangan pemanfaatan sumberdaya yang ada termasuk daya dukungnya sejak tahap perencanaan, pengelolaan dan pengembangan.

Dari sudut pengelolaan sumber daya air, tekanan yang dihasilkan akibat perubahan tata guna lahan pada daerah perkotaan umumnya berupa peningkatan volume limpasan serta penurunan tingkat resapan air. Kondisi ini lebih jauh dapat memicu terjadinya ketimpangan distribusi air antara musim kemarau dan musim hujan. Fakta menunjukkan bahwa pada beberapa tahun terakhir ini telah terjadi fenomena kekeringan pada saat musim kemarau sementara pada musim hujan bencana banjir tetap saja terjadi [Suripin, 2004].

Menurut Suripin, pengelolaan limpasan permukaan merupakan prioritas kegiatan utama yang harus dilakukan dalam proses pengembangan suatu kawasan. Pengelolaan limpasan yang ditujukan untuk meminimalkan tingkat kerugian serta upaya konservasi lingkungan dengan meningkatkan daya guna air termasuk peningkatan tingkat resapan air merupakan prinsip-prinsip dari sistem drainase berkelanjutan.

Istilah sistem drainase berkelanjutan belum memiliki istilah umum yang disepakati bersama. Di Inggris sistem ini dikenal dengan nama *sustainable urban drainage system* (SUDS), sementara pendekatan pengelolaan air hujan ini di Amerika dikenal dan dikategorikan dalam *low impact development* (LID) atau *best management practise* (BMP). Di Australia dikenal dengan *water sensitive urban design* (WUDS) dan beberapa negara maju lain menamakannya *integrated catchment planning* dan *ecological stormwater management* [Andah dan Iwugo, 2002; Stahre 2005; Spillett dan rekan, 2005; DTI Global Watch Mission, 2006]

Di negara maju aplikasi sistem drainase berkelanjutan yang telah dilakukan meliputi berbagai teknik. Sebagai contoh, dimanfaatkannya materi *porous* dalam menutup permukaan seperti lahan parkir, jalan lingkungan, dan lain-lain. Contoh lainnya adalah pembangunan kolam penampung yang dikombinasikan dengan *wet land* pada sejumlah area tertentu. Namun pada dasarnya prinsip utama dari berbagai pendekatan teknis tersebut tidak lain adalah merencanakan sistem drainase seoptimum mungkin agar mendekati kondisi sistem drainase natural.

Beberapa keuntungan yang akan didapat dalam upaya penerapan sistem drainase berkelanjutan meliputi:

1. Secara tidak langsung berpotensi menurunkan biaya pengembangan wilayah,
2. Dapat menurunkan tingkat polusi sehingga terjadi perbaikan kualitas lingkungan,
3. Memperbaiki metoda perancangan penanganan limpasan permukaan,
4. Menurunkan resiko terjadinya banjir, dan
5. Mengisi kembali air tanah dalam tingkat lokal.



Gambar 1. Gambar kolam penampung dan *wet land*.

(<http://www.scotland.gov.uk/Publications/2009/01/27140909/10>)

Namun demikian di samping potensi keuntungan dengan diterapkannya sistem drainase berkelanjutan, terdapat beberapa aspek yang dapat menghambat penerapan dan pengembangan sistem ini. Aspek legal, aspek kepemilikan, aspek pembiayaan, aspek pemeliharaan serta aspek administratif dan kelembagaan merupakan aspek-aspek yang harus dipikirkan dengan matang. Andah dan Iwugo, 2002, Stahre 2005 serta Spillet dan rekan, 2005, mendapati bahwa aspek-aspek tersebut seringkali menjadi aspek penyebab gagalnya sistem beroperasi secara berkelanjutan, disamping pula menjadi penghambat implementasi serta pengembangan sistem ini ketika jumlah pihak yang terkait dan berkepentingan menjadi banyak.

3. KOLAM TAMPUNGAN DAN SUMUR RESAPAN

Secara nyata pengelolaan limpasan permukaan dilakukan dengan mengembangkan fasilitas pengendali atau penahan limpasan. Berdasarkan fungsinya, fasilitas pengendali atau penahan limpasan dapat dikelompokkan atas dua jenis, yaitu jenis penyimpanan (*storage types*) dan jenis peresapan (*infiltration types*). Jenis penyimpanan berdasarkan lokasinya dapat dibedakan atas penyimpanan di luar lokasi (*off-site storage*) dan penyimpanan di dalam lokasi

(*on-site storage*). Penyimpan jenis *on-site storage* digunakan jika air hujan yang jatuh di kawasan sendiri tidak dibuang ke saluran luar sebagai akibat ketidakmampuan atau adanya keragu-raguan terhadap kinerja saluran luar. Fasilitas seperti kolam tampungan atau kolam parkir banjir (*retarding pond*) dan kolam regulasi (*regulation pond*) merupakan contoh-contoh dari *storage types* [Suripin, 2004].

Pemanfaatan jenis resapan (*infiltration types*) digunakan pada daerah yang memiliki tingkat permeabilitas tinggi dan secara teknik pengisian air tanah tidak mengganggu stabilitas geologi. Parit resapan, sumur resapan, kolam resapan serta perkerasan resapan merupakan contoh dari fasilitas jenis resapan. Prinsip jenis resapan adalah untuk mengurangi air permukaan (*run off*) dan memperlama waktu tinggal air di dalam tanah, sehingga jumlah air yang melimpah dan risiko banjir berkurang serta sekaligus meningkatkan ketersediaan air tanah.

Beberapa faktor yang mempengaruhi dimensi kolam tampungan dan sumur resapan untuk suatu lahan sangat bergantung pada beberapa faktor [Suripin, 2004]:

1. Luas permukaan penutupan, yaitu lahan yang limpasannya akan ditampung dalam kolam atau sumur resapan.
2. Karakteristik hujan, meliputi intensitas hujan, lama hujan, dan selang waktu hujan. Secara umum dapat dikatakan bahwa makin tinggi hujan, makin lama berlangsungnya hujan sehingga memerlukan volume tampungan yang makin besar. Sementara selang waktu hujan yang besar dapat mengurangi ukuran volume sumur yang diperlukan.
3. Permeabilitas tanah, yaitu kemampuan tanah untuk melewatkan air persatuan waktu. Tanah berpasir memiliki permeabilitas yang lebih tinggi dibandingkan tanah lempung.
4. Tinggi muka air tanah. Pada dasarnya untuk kondisi lahan dimana muka air tanah adalah dangkal, pembuatan sumur resapan dangkal kurang efektif atau dengan kata lain guna meresapkan air perlu dibuat sumur resapan dalam.

Adapun persyaratan umum yang perlu diperhatikan dalam perencanaan sumur resapan antara lain [Suripin, 2004]:

1. Sumur resapan air hujan dibuat pada lahan yang memiliki permeabilitas tinggi, atau memiliki lapisan akuifer yang cukup tebal.
2. Sumur resapan hujan harus bebas kontaminasi limbah. Dengan kata lain, air yang diperbolehkan untuk diresapkan hanyalah air hujan.
3. Untuk daerah sanitasi lingkungan buruk, sumur resapan air hujan hanya menampung air dari atap dan disalurkan melalui talang.
4. Dalam perencanaan perlu dipertimbangkan aspek hidrogeologi, geologi, dan hidrologi.

5. Terpenuhi jarak minimum sumur resapan terhadap bangunan lainnya seperti tersaji pada Tabel 1.

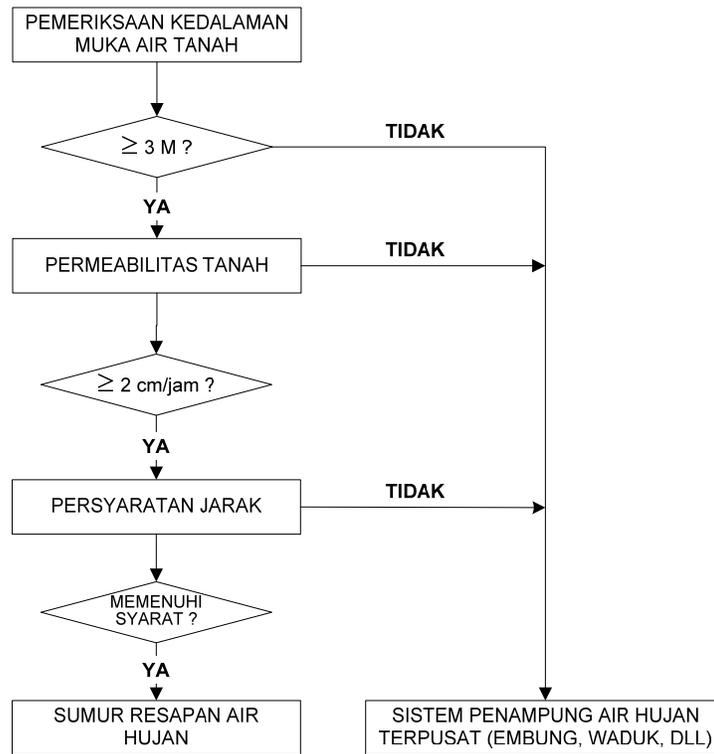
Tabel 1. Jarak minimum sumur resapan terhadap bangunan lain [Suripin, 2004]

No.	Bangunan yang ada	Jarak minimal dengan sumur
1	Bangunan/rumah	3,0
2	Batas pemilikan lahan	1,5
3	Sumur untuk air minum	10,0
4	Septik tank	10,0
5	Aliran air (sungai)	30,0
6	Pipa air minum	3,0
7	Jalan umum	1,5
8	Pohon besar	3,0

Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman, Departemen Pekerjaan Umum (1990) telah menyusun standar tata cara perencanaan teknis sumur resapan air hujan yang dituangkan dalam SK SNI-T-06-1990F. Perencanaan sumur resapan berdasarkan standar PU tersebut dapat digambarkan sesuai dengan diagram alir yang tersaji pada Gambar 2.

4. GAMBARAN UMUM DAERAH STUDI

Lokasi studi memiliki luas sebesar 1,5 hektar dengan kondisi saat ini 35% dari luas total lahan digunakan untuk sebagai area pergudangan. Sementara sisanya masih berupa lahan terbuka yang ditumbuhi oleh rumput-rumput liar. Lokasi daerah studi yang terletak di sisi Barat Kota Bandung ini merupakan kawasan padat penduduk. Di dalam rencana pengembangannya, lahan ini akan digunakan seluruhnya sebagai area pergudangan yang dilengkapi oleh fasilitas jalan lingkungan yang menggunakan perkerasan lentur. Gambar 3 menampilkan peta dan denah kawan dimaksud. Gambar 4 menunjukkan peta rencana pengembangan lahan.



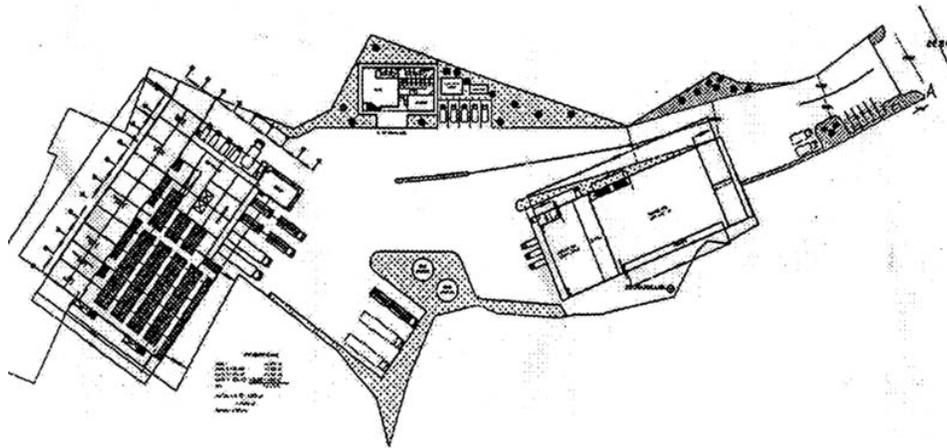
Gambar 2. Diagram alir perencanaan sumur resapan [Suripin 2004].

Berdasarkan hasil survei lapangan yang dilakukan dapat diketahui bahwa kondisi topografi lahan relatif datar. Sementara pada sisi kiri, kanan dan belakang lahan berbatasan langsung dengan daerah pemukiman padat penduduk. Sistem drainase di dalam area gudang berupa saluran berdimensi 0,2 m x 0,2 m. Sementara sistem drainase sekitar lahan merupakan kombinasi antara saluran limbah rumah tangga dan saluran limpasan air hujan yang berasal dari area gudang maupun lingkungan sekitar.

Dengan kapasitas saluran *outlet* sistem drainase yang relatif kecil yaitu 0,2 m x 0,2 m, dapat diperkirakan bahwa setelah seluruh lahan ditutup oleh lapisan kedap air, beban limpasan yang terjadi tidak memungkinkan lagi untuk disalurkan keluar tanpa adanya fasilitas pengendali atau penahan limpasan. Untuk itu dalam upaya penerapan sistem drainase berkelanjutan, dalam tulisan ini dilakukan analisis dan simulasi pemanfaatan kolam retensi banjir beserta aplikasi sumur resapan sebagai upaya alternatif dan preventif dalam melakukan mitigasi atas resiko banjir.



Gambar 3. Peta lokasi dan situasi daerah kajian (<http://maps.google.com/>).



Gambar 4. Rencana pengembangan lahan.

5. KETERSEDIAAN DAN KELAYAKAN DATA

Untuk dapat mengukur potensi limpasan yang terjadi pada kawasan tersebut, serangkaian analisis yang dilakukan di dalam studi ini meliputi analisis kelayakan data curah hujan, analisis curah hujan rencana, analisis kurva IDF, dan analisis debit banjir. Analisis kelayakan data hujan yang dilakukan meliputi pemeriksaan adanya *outlier*, pemeriksaan adanya trend, pemeriksaan stabilitas *variance* dan *mean*, dan pemeriksaan adanya independensi.

Berdasarkan hasil analisis kelayakan data hujan yang diperoleh dari Stasiun Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG), Bandung untuk periode tahun 1986–2000 diketahui bahwa pada 3 buah durasi hujan terdapat *outlier* pada seri data. Hasil selengkapnya disajikan pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Hasil uji kelayakan data hujan.

Curah Hujan (menit)	Outliers	Trend	Stabilitas		Independensi
			Varians	Mean	
5	tidak ada	tidak ada	stabil	stabil	independen
10	ada	tidak ada	stabil	stabil	independen
15	tidak ada	tidak ada	stabil	stabil	independen
20	tidak ada	tidak ada	stabil	stabil	independen
45	ada	tidak ada	stabil	stabil	independen
60	ada	tidak ada	stabil	stabil	independen
120	ada	tidak ada	stabil	stabil	independen
180	ada	tidak ada	stabil	stabil	independen
360	ada	tidak ada	stabil	stabil	independen
720	ada	tidak ada	stabil	stabil	independen

6. ANALISIS CURAH HUJAN RENCANA

Seperti halnya analisis kelayakan data hujan yang meliputi beberapa tahap analisis, pada analisis frekuensi selain mengestimasi besarnya curah hujan rencana, dilakukan pula penentuan distribusi probabilitas curah hujan. Dua buah metode yang umumnya digunakan untuk menentukan kesesuaian distribusi probabilitas adalah metode *Chi Kuadrat* dan metode *Kolmogorov-Smirnov*. Namun karena metode *Chi-Kuadrat* hanya efektif bila jumlah data pengamatan besar, maka di dalam studi ini penentuan distribusi probabilitas curah hujan dilakukan dengan menggunakan metode *Kolmogorov-Smirnov*.

Berdasarkan hasil uji metode *Kolmogorov-Smirnov*, diketahui bahwa semua jenis distribusi probabilitas memenuhi syarat. Secara umum, distribusi probabilitas yang memberikan nilai penyimpangan terkecil adalah bervariasi untuk berbagai jenis durasi hujan. Namun karena distribusi Pearson-III mendominasi jumlah distribusi probabilitas yang memberikan nilai penyimpangan terkecil dan memiliki nilai curah hujan rencana yang relatif sama besar dibandingkan distribusi log normal 2 parameter dan log Pearson III, maka dalam analisis selanjutnya curah hujan rencana digunakan adalah curah hujan berdasarkan distribusi Pearson-III. Hasil perhitungan besarnya curah hujan rencana berdasarkan distribusi Pearson III disajikan pada Tabel 3.

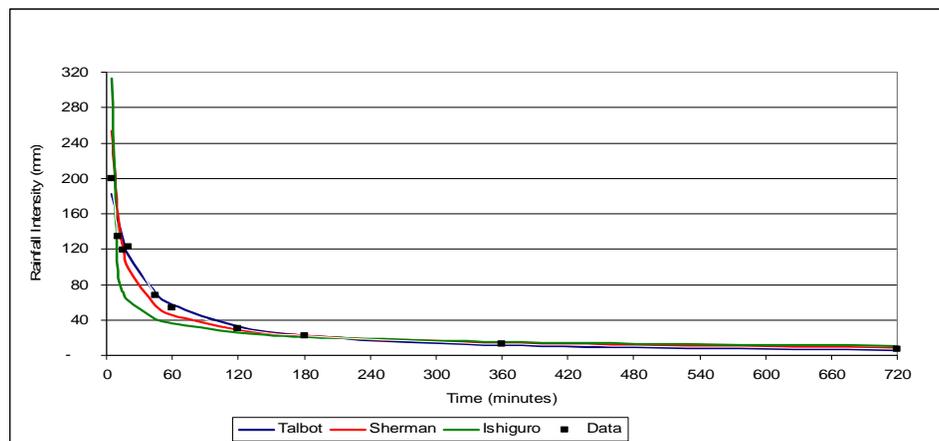
Tabel 3. Curah hujan rencana untuk masing-masing durasi hujan berdasarkan distribusi probabilitas Pearson III (satuan dalam mm.)

Periode Ulang	5	10	15	20	45	60	120	180	360	720
2	13,17	19,86	25,17	35,43	45,82	48,77	55,80	58,50	65,99	71,18
5	16,60	22,47	29,81	41,06	51,05	53,79	60,49	66,04	77,61	80,91
10	18,60	23,90	32,19	43,73	53,92	56,61	62,89	70,43	84,48	86,54
20	20,36	25,12	34,14	45,80	56,36	59,04	64,85	74,29	90,60	91,48
25	20,90	25,48	34,70	46,38	57,08	59,76	65,41	75,46	92,45	92,97
50	22,47	26,52	36,31	47,98	59,18	61,89	67,02	78,90	97,97	97,36
100	23,95	27,48	37,74	49,36	61,10	63,86	68,46	82,14	103,18	101,47
1000	28,44	30,26	41,70	52,88	66,68	69,68	72,42	91,93	119,12	113,86

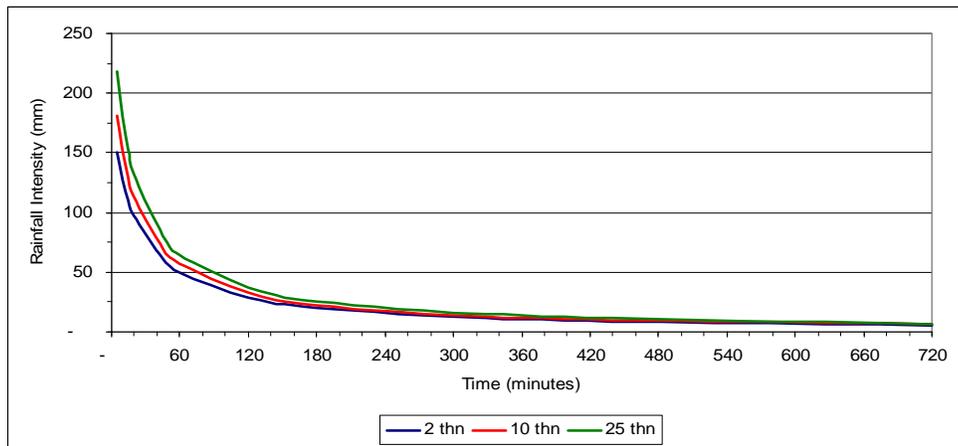
7. ANALISIS KURVA IDF

Dengan luas daerah studi yang kecil, maka di dalam studi ini besarnya debit banjir ditentukan berdasarkan metode rasional. Untuk itu di dalam studi ini pula dilakukan analisis kurva IDF berdasarkan persamaan Talbot, persamaan Sherman, dan persamaan Ishiguro. Kurva ini umumnya dimanfaatkan untuk hujan dengan durasi pendek berkisar dari 5 menit sampai dengan beberapa jam.

Berdasarkan hasil analisis kurva IDF dari ketiga persamaan tersebut di atas, diketahui bahwa distribusi seri data hujan BMG Bandung mengikuti metode Talbot. Secara grafis hasil perbandingan ketiga metode dapat dilihat pada Gambar 5. Dengan demikian, kurva IDF untuk seri data hujan BMG Bandung yang akan digunakan pada tahap analisis debit banjir ditentukan berdasarkan metode Talbot. Untuk kurva IDF pada periode ulang 2, 10, dan 25 tahun secara jelas disajikan pada Gambar 6.



Gambar 5. Kurva IDF untuk metode Talbot, Sherman, dan Ishiguro.



Gambar 6. Kurva IDF berdasarkan metode Talbot.

8. ANALISIS DEBIT BANJIR

Analisis debit banjir dilakukan untuk mengetahui besar debit aliran rencana yang mungkin terjadi sesuai dengan periode ulang tertentu. Besarnya debit banjir tersebut diperlukan sebagai dasar perencanaan hidraulik sistem drainase beserta bangunan pelengkapannya. Untuk kawasan permukiman dan perkotaan, perencanaan sistem drainase didasarkan pada debit banjir dengan periode ulang 10 tahun. Secara matematis metode rasional dinyatakan sebagai berikut:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \quad (\text{m}^3/\text{detik}) \quad (1)$$

dengan:

Q = debit banjir maksimum (m^3/detik)

C = koefisien pengaliran/limpasan, tergantung kondisi lahan untuk jenis lahan industri ringan, besarnya koefisien C = 0,8 [Akan, 1993]

I = intensitas hujan rencana dengan durasi sama dengan waktu konsentrasi (mm/jam)

A = luas daerah pengaliran (km^2)

Intensitas hujan merupakan fungsi dari durasi hujan dan waktu konsentrasi. Besarnya intensitas ditentukan menggunakan kurva IDF berdasarkan periode ulang hujan dan lama waktu pengaliran. Secara umum, total lama waktu pengaliran adalah hasil penjumlahan terbesar antara waktu aliran di atas permukaan lahan dan waktu aliran pada saluran dengan titik acuan yang sama. Dengan memperhitungkan besarnya pengaruh jenis

lapisan penutup lahan, besarnya waktu aliran limpasan di atas lahan dapat dihitung dengan persamaan Hathway berikut:

$$t_o = \frac{1,44(L \cdot n)^{0,476}}{S^{0,234}} \quad (2)$$

dengan:

- t_o = waktu pengaliran di lahan (menit)
- L = panjang *overland flow* (m)
- n = koefisien penutup lahan, untuk perkerasan halus $n = 0,02$ [Ponce, 1989]
- S = kemiringan lahan

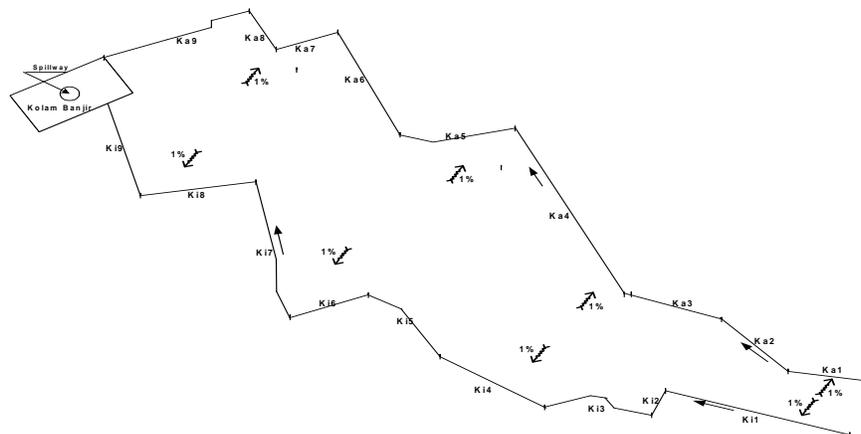
Sedangkan lamanya waktu pengaliran di sepanjang saluran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan rasional sebagai berikut:

$$t_d = \frac{Ls}{60 \cdot v} \quad (3)$$

dengan:

- t_d = waktu pengaliran di saluran (menit)
- Ls = panjang saluran (m)
- v = kecepatan aliran (m/dt)

Sesuai dengan rencana pengembangan lokasi studi, lahan direncanakan dengan kemiringan sebesar 1% terhadap sistem drainase yang terdapat pada sisi kiri dan kanan lahan. Berdasarkan *lay out* skema sistem drainase yang dapat dilihat pada Gambar 7, besarnya debit banjir dengan periode ulang 10 tahun dan dimensi saluran untuk masing-masing ruas saluran pada lahan dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.



Gambar 7. Lay out sistem drainase lahan.

Tabel 4. Debit banjir dan dimensi saluran drainase kiri.

No.	Ruas Saluran	Panjang Saluran (m)	Slope Saluran	Koef. Manning	tc	l	Q _{final}	Y _n (m)	Y _c (m)	Ket.	V (m/det)	Dimensi Saluran	
												B (cm)	H(cm)
1	Ki1	34,000	0,005	0,025	2,186	204,644	0,042	0,150	0,090	Subkritis	0,577	50	40
2	Ki2	7,000	0,005	0,025	2,323	196,033	0,053	0,170	0,100	Subkritis	0,617	50	40
3	Ki3	21,000	0,005	0,025	3,569	192,634	0,073	0,220	0,130	Subkritis	0,673	50	40
4	Ki4	21,000	0,005	0,025	3,978	199,212	0,098	0,270	0,160	Subkritis	0,725	50	50
5	Ki5	20,000	0,005	0,025	4,367	186,325	0,114	0,300	0,170	Subkritis	0,752	50	50
6	Ki6	15,000	0,005	0,025	4,659	184,120	0,133	0,340	0,190	Subkritis	0,778	50	50
7	Ki7	32,500	0,005	0,025	5,291	179,515	0,160	0,390	0,220	Subkritis	0,809	50	60
8	Ki8	20,000	0,005	0,025	5,680	176,794	0,173	0,420	0,230	Subkritis	0,822	50	60
9	Ki9	21,000	0,005	0,025	6,089	174,024	0,202	0,480	0,260	Subkritis	0,848	50	70

Tabel 5. Debit banjir dan dimensi saluran kiri.

No.	Ruas Saluran	Panjang Saluran (m)	Slope Saluran	Koef. Manning	tc	l	Q _{final}	Y _n (m)	Y _c (m)	Ket.	V (m/det)	Dimensi Saluran	
												B (cm)	H(cm)
1	Ka1	20,000	0,005	0,025	1,914	207,188	0,034	0,120	0,080	Subkritis	0,541	50	40
2	Ka2	17,500	0,005	0,025	2,255	204,017	0,050	0,160	0,100	Subkritis	0,607	50	40
3	Ka3	20,000	0,005	0,025	2,644	200,510	0,063	0,190	0,120	Subkritis	0,648	50	40
4	Ka4	42,500	0,005	0,025	3,471	190,355	0,123	0,320	0,180	Subkritis	0,765	50	50
5	Ka5	22,500	0,005	0,025	4,289	186,923	0,141	0,360	0,200	Subkritis	0,788	50	60
6	Ka6	24,500	0,005	0,025	4,766	183,324	0,172	0,420	0,230	Subkritis	0,821	50	60
7	Ka7	11,000	0,005	0,025	4,980	181,753	0,178	0,430	0,230	Subkritis	0,827	50	60
8	Ka8	10,500	0,005	0,025	5,184	180,278	0,183	0,440	0,240	Subkritis	0,831	50	60
9	Ka9	24,500	0,005	0,025	5,661	176,928	0,186	0,450	0,240	Subkritis	0,834	50	70

Dengan asumsi besarnya limpasan air hujan di luar lahan yang diperhitungkan sebagai kontribusi tambahan terhadap beban sistem drainase lahan sebesar 0,01 m³/dt, maka total besarnya debit banjir untuk saluran kiri adalah 0,202 m³/dt (tc = 6,1 menit) dan saluran kanan adalah 0,186 m³/dt (tc = 5,7 menit). Berdasarkan nilai perhitungan debit banjir yang diperoleh, maka besarnya dimensi saluran drainase batu kali dengan kemiringan dasar saluran 0,5% dan tinggi jagaan sebesar 0,15 m untuk debit lebih kecil dari pada 1,5 m³/dt adalah bervariasi antara 0,5 m x 0,4 m hingga 0,5 m x 0,7 m. Berdasarkan hasil analisis tersebut pula, diketahui bahwa secara umum jenis aliran yang ada pada saluran drainase adalah aliran subkritis dan kecepatan aliran pada seluruh ruas saluran lebih kecil dari pada kecepatan ijin yaitu 1,5 m/dt.

9. ANALISIS DEBIT SUMUR RESAPAN

Berdasarkan skema sistem drainase pada Gambar 7, kolam tampungan dan sumur resapan direncanakan terletak pada sisi belakang lokasi studi. Merujuk kepada diagram alir perencanaan teknis sumur resapan yang tersaji pada Gambar 2, sumur resapan dapat dibangun jika kedalaman muka air tanah lebih atau sama dengan 3,0 m dan koefisien permeabilitas lebih atau sama dengan 2,0 cm/jam.

Dari hasil penyelidikan geoteknik didapatkan bahwa pada kedalaman 7,5-20,0 m ditemukan lapisan tanah (akuifer) yang didominasi oleh pasir kasar bercampur sedikit lempung. Fakta ini diperkuat atas hasil survei yang dilakukan pada sumur bor-sumur bor yang dimiliki masyarakat sekitar. Kedalaman sumur bor-sumur bor yang dimiliki masyarakat sekitar berkisar antara 12,0-18,0 m dengan rata-rata jarak horizontal dari titik bor penyelidikan geoteknik antara 5,0-25,0 m.

Hasil temuan lain dari penyelidikan geoteknik adalah terdapatnya muka air tanah yang sangat dangkal pada lokasi pengeboran yaitu 0,5 m dari permukaan tanah. Dangkalnya muka air tanah ini terjadi karena adanya lapisan tanah yang kedap air antara kedalaman 1,0 – 0,5 m. Berdasarkan kondisi tersebut maka jenis sumur resapan yang akan dipilih dalam studi ini adalah sumur resapan dalam. Besarnya debit resapan menurut Suripin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q = \frac{2\pi.KBH}{\ln \frac{B}{r}} \quad (4)$$

dengan:

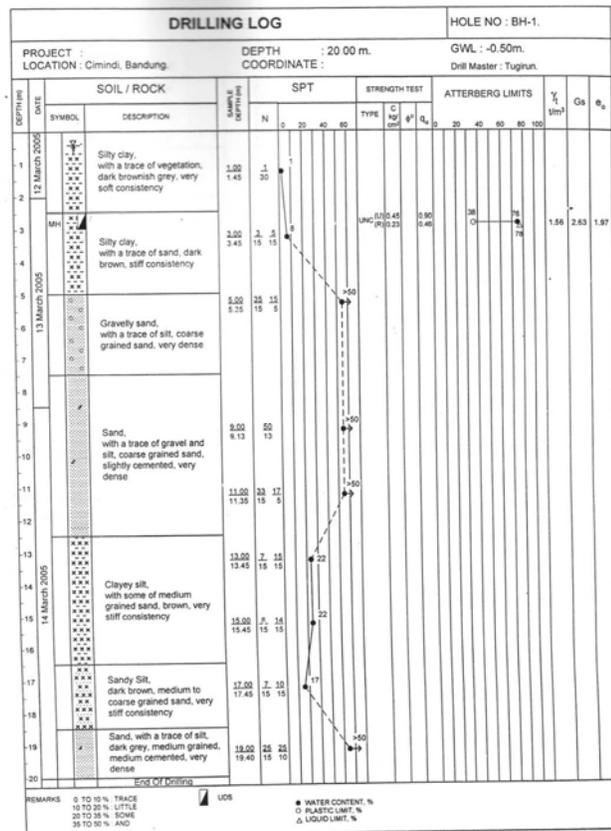
- Q = debit (m³/detik)
- K = permeabilitas akuifer (m/detik)
- B = ketebalan lapisan akuifer (m)
- H = ketinggian *potentiometric surface*
- r = jari-jari sumur resapan (m)

Mengacu kepada jenis tanah seperti tersaji pada Tabel 7, besar koefisien permeabilitas untuk lapisan tersebut diperkirakan antara 4 x 10⁻³ sampai dengan 4 x 10⁻⁵ m/dt. Dengan tebal lapisan akuifer (B) setebal 12,5 meter, ketinggian *potentiometric surface* (H) adalah 0,5 meter dan jari-jari sumur resapan sebesar 1,25 m, maka berdasarkan hasil perhitungan di dapatkan besarnya debit resapan potensial adalah sebesar 0,007 m³/dt.

**Tabel 7. Angka koefisien permeabilitas untuk berbagai jenis tanah dan material
(Carter, M. Dan Bentley, S.P., 1991)**

Material	Permeability (m/s)
Uniformly graded coarse aggregate	$0,4 - 4 \times 10^{-3}$
Well-graded aggregate without fines	$4 \times 10^{-3} - 4 \times 10^{-5}$
Concrete sand, low dust content	$7 \times 10^{-4} - 7 \times 10^{-6}$
Concrete sand, high dust content	$7 \times 10^{-6} - 7 \times 10^{-8}$
Silty and clayey sands	$10^{-7} - 10^{-9}$
Compacted silt	$7 \times 10^{-8} - 7 \times 10^{-10}$
Compacted clay	less than 10^{-9}
Bituminous concrete	$4 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-8}$
Portland cement concrete	less than 10^{-10}

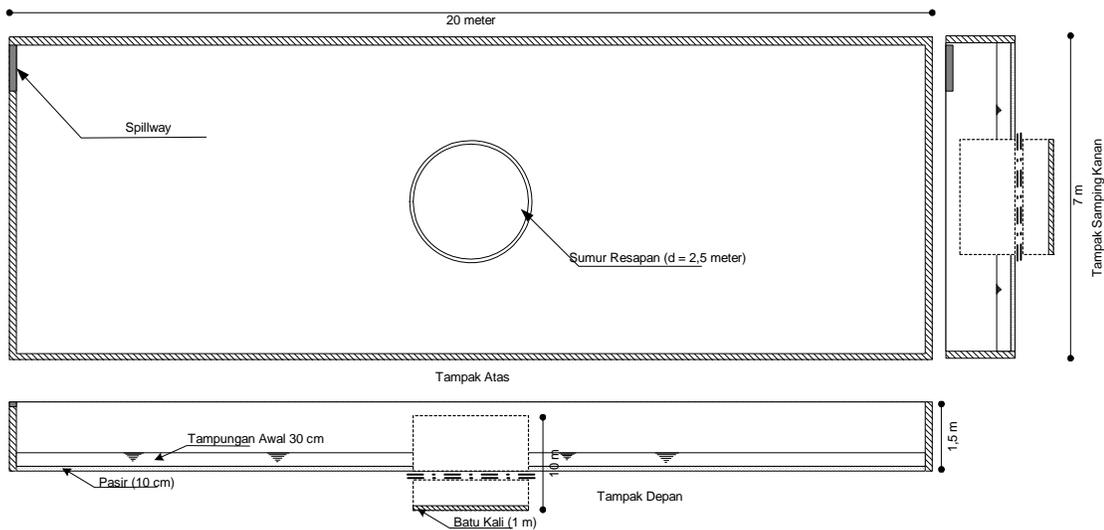
Sesuai dengan kondisi pelapisan tanah pada lokasi studi, maka sumur resapan direncanakan dengan kedalaman 10,0 m dengan tinggi susunan batu kali pada dasar sumur adalah 1,0 m. Dengan demikian, besar volume awal yang memenuhi ruang sumur dan kemudian meresap secara perlahan meresap adalah 44,2 m³. Volume air yang dapat ditampung di dalam sumur ini secara tidak langsung berfungsi sebagai volume pengurang terhadap volume limpasan yang masuk ke dalam kolam tampungan.



Gambar 8. Borlog Hasil Penyelidikan Geoteknik.

10. PERENCANAAN KOLAM RETENSI

Dimensi kolam retensi dapat ditentukan dengan melakukan penelusuran banjir berdasarkan metode Muskingum reservoir routing. Hidrograf banjir aliran masuk untuk perencanaan kolam retensi berasal dari kedua sisi saluran drainase. Sumur resapan direncanakan terletak di tengah kolam retensi yang memiliki tinggi awal genangan sebesar 0,3 m sebagai fasilitas air cadangan untuk kebutuhan cuci dan sebagainya. Secara jelas, sketsa *layout* kolam retensi yang direncanakan disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Sketsa *layout* kolam retensi dan sumur resapan.

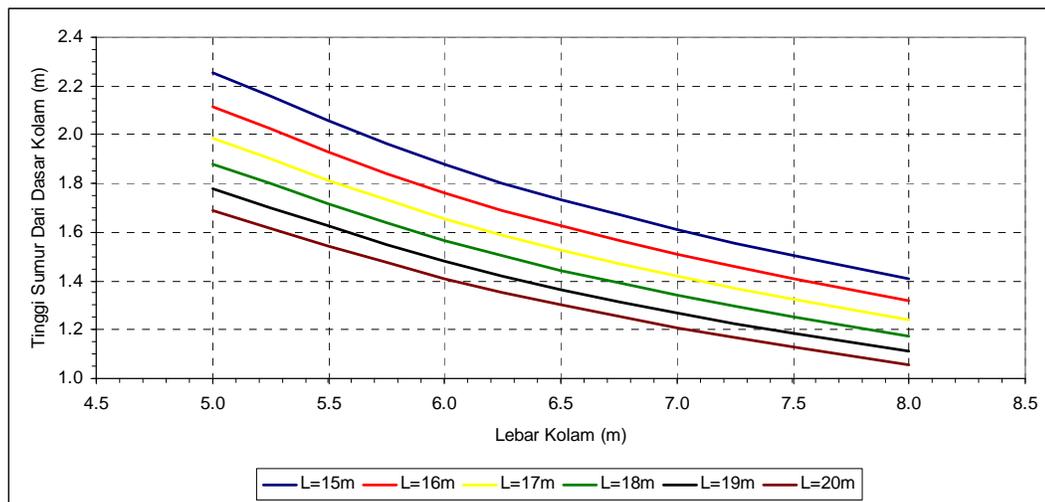
Dengan diketahuinya debit sumur resapan sebesar $0,007 \text{ m}^3/\text{detik}$, berdasarkan hasil penelusuran banjir reservoir diketahui bahwa volume kolam retensi minimum yang diperlukan untuk kebutuhan pengendalian banjir pada lahan gudang adalah 169 m^3 . Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 8 dan Gambar 10.

Tabel 8. Hubungan antara $Q_{\text{sumur resapan}}$, elevasi muka air maksimum dan volume genangan.

Q_{sumur} (m^3/dt)	Tinggi Muka Air di Atas Sumur (m)	Volume Genangan Kolam ($\times 1000 \text{ m}^3$)	Awal Pengisian Sumur (menit ke-)	Waktu Puncak Q_{sumur} (menit ke-)
0,367	0,173	0,099	5,0	7,0
0,227	0,126	0,137	7,0	9,0
0,143	0,092	0,155	8,0	10,0
0,007	0,012	0,169	11,0	12,0

Catatan: elevasi dasar kolam di asumsikan pada +0,00 m

Merujuk kepada Tabel 8 dan Gambar 10 dapat disimpulkan bahwa untuk tinggi sumur resapan 1,2 m dengan tinggi jagaan kolam sebesar 0,3 m terdapat beberapa alternatif pilihan untuk dimensi kolam retensi. Namun sesuai dengan kondisi lahan yang tersedia, maka alternatif dimensi dimensi kolam retensi yang paling sesuai adalah 7,0 m x 20,0 m x 1,5 m. Untuk mengatasi debit banjir di atas periode ulang 10 tahun, diperlukan penempatan sebuah pelimpah dengan lebar 1,0 m pada kolam dengan elevasi puncak pelimpah adalah 0,17 m di atas elevasi bibir sumur resapan.



Gambar 10. Hubungan antara panjang, lebar dan tinggi sumur resapan.

11. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan serangkaian analisis yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Saluran drainase saat ini dengan dimensi 0,2 m x 0,2 m tidak lagi memadai untuk menerima beban limpasan hujan pada area gudang yang dikembangkan sebagai lahan kedap air. Hasil analisis menunjukkan bahwa dimensi saluran drainase yang diperlukan bervariasi antara 0,5 m (lebar) x 0,4 m (tinggi) pada bagian hulu sistem saluran hingga 0,5 m (lebar) x 0,7 m (tinggi) pada bagian hilir sistem saluran.
2. Berdasarkan hasil simulasi penelusuran banjir reservoir, besarnya volume kolam retensi yang diperlukan untuk menerima beban drainase dengan periode ulang 10 tahun akibat perubahan tata guna lahan adalah 169 m³. Dengan direncanakannya sumur resapan setinggi 1,2 m dari dasar kolam, maka dimensi kolam retensi yang sesuai dengan

ketersediaan lahan adalah 7,0 m x 20,0 m x 1,5 m.

3. Dengan dimensi kolam 7,0 m x 20,0 m x 1,5 m, besarnya debit sumur resapan dengan diameter 1,25 m maksimum mencapai 7 liter/detik dengan ketinggian muka air di atas bibir sumur sekitar 0,012 m.
4. Untuk mengatasi debit banjir di atas periode ulang 10 tahun, diperlukan sebuah pelimpah dengan lebar 1,0 m pada kolam dengan elevasi puncak pelimpah adalah 0,17m di atas elevasi bibir sumur resapan.
5. Pemanfaatan secara kombinasi antara kolam retensi dan sumur resapan pada lokasi studi menunjukkan bahwa konsep sistem drainase yang berkelanjutan tetap dapat diterapkan pada kawasan padat penduduk, meskipun terdapat kemungkinan diperlukan biaya yang cukup besar.
6. Untuk menjamin sistem kolam retensi dan sumur resapan ini terus beroperasi dengan baik dan berkelanjutan, maka pihak-pihak yang terkait dan berkepentingan harus pula memperhatikan aspek-aspek lainnya, contohnya seperti aspek pembiayaan dan aspek pemeliharaan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Akan, A.S. and Houghtlaen, R.J. (2003), *Urban Hydrology, Hydraulics, and Stormwater Quality*, John Wiley and Sons Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
2. Akan, A.S. (1993), *Urban Stormwater Hydrology-A Guide to Engineering Calculation*, Technomic Publishing, Pennsylvania.
3. Carter, M. and Bentley, S.P. (1991), *Correlations of Soil Properties*, Pentech Press, London.
4. Davis, Thomas. (2004), *What is Sustainable Development*, (online), (<http://www.menominee.edu/sdi/whatis.htm>, diakses 17 Juli 2004).
5. Johnston Smith Consulting Ltd. (2006), *Sustainable Urban Drainage Systems*, (online), (<http://www.johnstonsmith.co.uk/fact15.html>, diakses 7 September 2006).
6. McCuen, R.H. (1998), *Hydrologic Analysis and Design*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1998.
7. Ponce, V.M. (1989), *Engineering Hydrology-Principles and Practices*, Prentice Hall. Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
8. Suripin. (2004), *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*, Penerbit Andi, Yogyakarta.

9. Sustainable Water Environment in Lancashire (SWEL). (2006), *Sustainable Drainage Systems*, (online), (<http://www.swel.org.uk/suds.htm>, diakses 6 September 2006).
10. United Nations, General Assembly. (2004), *Report of The United Nations Conference On Environment and Development – Annex I – Rio Declaration On Environment and Development*, (online), (<http://www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-1annex1.htm>, diakses 17 Juli 2004).
11. Google Maps, (online), (<http://maps.google.com/>, diakses 13 Januari 2009).
12. DTI Global Watch Mission. (2006), Technical Report, *Sustainable Drainage System: a mission to the USA*, Bistish Water.
13. Stahre P. (2005), *15 Years Experiences of Sustainable Urban Storm Drainage in the City of Malmo, Sweden*, World Water and Environmental Resources Congress 2005 173, 154.
14. Spillett, P.B, Evans, S.G., Colquhoun, K., (2005), *International Perspective on BMPs/SUDS: UK—Sustainable Stormwater Management in The UK*, World Water and Environmental Resources Congress 2005 173, 196.
15. Andoh, R.Y.G., dan Iwugo K.O., (2002), *Sustainable Urban Drainage Systems — A UK Perspective*, Urban Drainage 2002 112, 19
16. Transport Directore-Directorate for the Build Environment, (2009), *Designing Streets: Consultation Draft*, The Scottish Government Publications, (online), (<http://www.scotland.gov.uk/Publications/2009/01/27140909/10>, diakses 11 Mei 2009).

METODE KONSTRUKSI
PRECAST SEGMENTAL BALANCED CANTILEVER
(STUDI KASUS JALAN LAYANG PASUPATI – BANDUNG)

Sugito Liono

Alumnus Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha
Structural Engineer Proyek Pasupati tahun 2001 – 2004

ABSTRACT

Precast segmental balanced cantilever method, a challenging construction method used for elevated road and bridge construction. Taking advantage of its balancing effect, the structure is self supported without any other support/falsework, using this method the bridge is constructed from above of the structure. For bridge construction many advantages of this method such as bridge above the sea or river, above the valley, with balanced cantilever method this bridge can be constructed from above of the structure. Balanced cantilever method used in elevated road project PASUPATI located in Bandung, Indonesia. Balanced cantilever method has advantage such as the structure constructed from above of the structure, but other important factor must be considered is the expensive investment of the heavy equipment such as launching gantry for precast segment lifting, preparation of the casting yard for the fabrication of the precast segment and low bed trailer which is specially designed to accommodate all the condition of the site conditions.

Keywords: Cantilever segmental bridge, Bridge construction method.

ABSTRAK

Metode konstruksi *precast segmental balanced cantilever*, sebuah metode konstruksi yang dapat dipertimbangkan dalam pembangunan jalan layang atau jembatan. Dengan memanfaatkan efek kantilever seimbangnnya maka struktur dapat berdiri sendiri tanpa diperlukannya sokongan lain seperti perancah yang diletakkan di bawah jembatan, pelaksanaan konstruksi dapat dilakukan dari bagian atas struktur. Dengan penggunaan metode tersebut maka seluruh aktivitas pembangunan tidak akan mengganggu kegiatan di bawahnya, seperti pembangunan jalan layang maka lalu lintas di bawah tidak akan terganggu, atau pembangunan jembatan di laut maka tidak ada pilihan pembangunan harus dilakukan dari atas struktur. Teknologi metode *balanced cantilever* sudah banyak digunakan untuk pembangunan jembatan-jembatan di luar negeri, untuk di Indonesia diterapkan di proyek pembangunan jalan layang PASUPATI Bandung. Metode *balanced cantilever* mempunyai keuntungan seperti tidak diperlukannya perancah, pembangunan dapat dilakukan dari bagian atas struktur, tetapi di samping itu perlu dipertimbangkan juga nilai investasi yang cukup mahal untuk alat-alat berat yang digunakan seperti *launching gantry*, pembangunan lahan *casting yard* dan pengadaan *low bed trailer* yang butuh desain khusus sehingga manuvernya sanggup untuk semua kondisi medan yang digunakan.

Kata kunci: Jembatan segmental kantilever, Metode konstruksi jembatan.

1. PENDAHULUAN

Pembangunan sebuah jalan layang sudah merupakan kebutuhan seiring dengan meningkatnya arus lalu lintas di kota-kota besar. Membangun jalan layang di kota besar merupakan sebuah tantangan besar bagi para perencana struktur, karena harus dipilih sebuah metode konstruksi yang tepat sehingga tidak mengganggu arus lalu lintas di bawah jalan

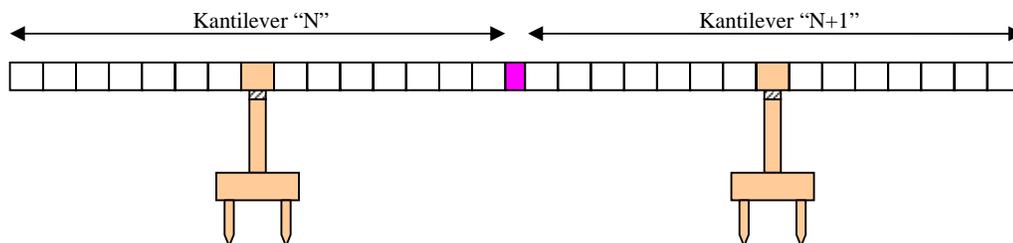
layang. Sebuah metode konstruksi yang dapat dipertimbangkan adalah metode konstruksi *precast segmental balanced cantilever*. Metode tersebut telah diterapkan dalam pembangunan jalan layang PASUPATI di Bandung, dan dapat berhasil dengan baik.

2. METODE *PRECAST SEGMENTAL BALANCED CANTILEVER*

2.1 Umum

Metode konstruksi *balanced cantilever* adalah metode pembangunan jembatan dimana dengan memanfaatkan efek kantilever seimbang maka struktur dapat berdiri sendiri, mendukung berat sendirinya tanpa bantuan sokongan lain (*perancah/falsework*). Metode ini dilakukan dari atas struktur sehingga tidak diperlukan sokongan di bawahnya yang mungkin dapat mengganggu aktivitas di bawah jembatan. Metode *balanced cantilever* dapat dilakukan secara cor setempat (*cast in situ*) atau secara segmen pracetak (*precast segmental*).

Konsep utamanya adalah struktur jembatan dibangun dengan pertama kali membangun struktur-struktur kantilever seimbang. Kantilever yang pertama dibuat adalah kantilever "N", dan seterusnya dibangun kantilever "N+1", kantilever "N+2", kantilever "N+3" dan kantilever "N+i".



Gambar 1. Metode *Balanced Cantilever*.

2.2 Definisi

Precast berarti badan jalan tidak dicor di lokasi (*cast in situ*), tetapi dibuat di pabrik yang dinamakan *casting yard*, setiap segmen badan jalan tersebut akan ditransportasi ke lokasi pemasangan (*erection*) menggunakan trailer yang didesain khusus. Ada dua metode standar yang dapat digunakan untuk proses pembuatan setiap segmen yaitu *short line casting method* dan *long line casting method*.

Short line casting method, metode pengecoran dilakukan secara pendek setiap satu segmen pracetak. Keuntungannya adalah tidak dibutuhkan lahan yang luas, volume beton kecil sehingga kontrol pengecoran lebih mudah, proses pengecoran tidak memakan banyak waktu, penanganan segmen lebih mudah karena berat segmen lebih ringan, proses transportasi lebih mudah tidak membutuhkan alat khusus, proses *erection* lebih mudah

karena berat segmen lebih ringan. Kerugiannya adalah proses kontrol geometri secara alinemen horisontal atau alinemen vertikal lebih sulit terutama untuk daerah tikungan dan tanjakan. Dalam *short line casting* dituntut ketelitian yang sangat tinggi, toleransi kesalahan pengecoran sekitar 1 mm – 2 mm. Jalan layang PASUPATI menggunakan metode pencetakan segmen *short line casting*.

Long line casting method, metode pengecoran dilakukan secara panjang untuk satu bentang struktur. Kerugiannya adalah dibutuhkan lahan yang luas, volume beton besar sehingga kontrol pengecoran lebih sulit, proses pengecoran memakan banyak waktu, penanganan segmen lebih sulit karena berat segmen lebih berat, proses transportasi lebih sulit dan membutuhkan alat khusus, proses *erection* lebih sulit karena berat segmen lebih berat. Keuntungannya adalah proses kontrol geometri secara alinemen horisontal atau alinemen vertikal lebih mudah karena dibuat secara total sepanjang satu bentang struktur. Dalam *long line casting* tidak dituntut ketelitian yang tinggi.

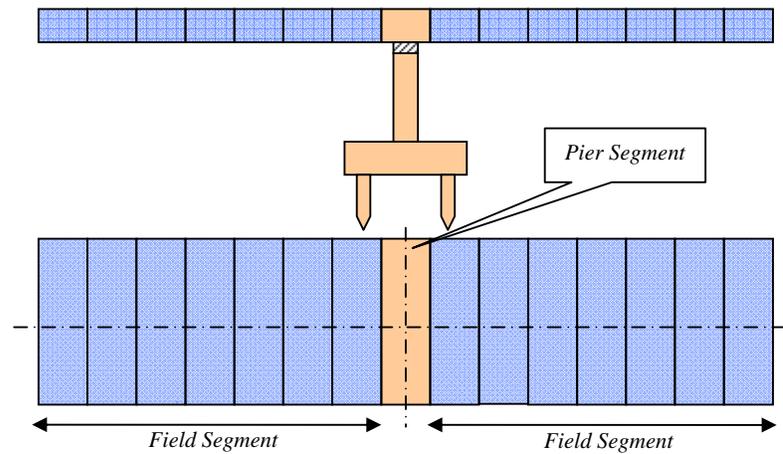
Segmental berarti pekerjaan pengecoran (*casting*) dan perakitan (*erection*) dilakukan setiap satu segmen pracetak. Satu bentang struktur dibagi menjadi “n” segmen pracetak dengan lebar tertentu sesuai dengan kebutuhan. Semakin banyak segmen maka berat segmen menjadi lebih ringan, transportasi lebih mudah, pemasangan lebih mudah, kemungkinan kesalahan (*casting/erection*) lebih banyak. Semakin sedikit segmen maka segmen menjadi lebih berat, transportasi lebih sulit, pemasangan lebih sulit, kemungkinan kesalahan (*casting/erection*) lebih sedikit.

Balanced cantilever berarti pemasangan segmen pracetak (*erection*) dilakukan dengan konstruksi kantilever seimbang. Walaupun sebenarnya saat konstruksi, kondisi kantilever seimbang murni tidak selalu dapat tercapai, maka dalam desain struktur selalu dipersiapkan kondisi tidak seimbang satu segmen pracetak.

2.3 Identifikasi Segmen Pracetak

Seperti dijelaskan di atas bahwa dalam metode *precast segmental balanced cantilever* satu bentang struktur dibagi menjadi “n” segmen pracetak. Cara pembagian segmen tidak dapat dilakukan secara sembarang, harus mengikuti metode pengecoran di pabrik dan harus mengikuti pula metode perakitan di lapangan.

Ada dua jenis segmen yaitu *pier segment* dan *field segment*. *Pier segment* adalah segmen pracetak yang berada tepat di atas *pier* (pilar) atau daerah tumpuan, *field segment* adalah segmen pracetak yang berada di daerah lapangan.



Gambar 2. Pier Segment & Field Segment.

2.4 Erection Stage

Secara teoritis urutan pekerjaan *erection precast segmental balanced cantilever* untuk satu kantilever setelah segmen pracetak ditransportasi dari *casting yard* ke lapangan adalah:

1. *Pier segment* diterima pertama kali di lokasi perakitan.
2. Satu buah *field segment* (segmen di depan/belakang *pier segment*) diterima setelah *pier segment*.
3. Segmen yang pertama kali dipasang adalah *pier segment*, karena bearing belum dapat diaktifkan maka harus diadakan tumpuan sementara untuk mendukung segmen tersebut. Kemudian dilakukan penyesuaian koordinat untuk alinyemen horisontal dan elevasi untuk alinyemen vertikal.
4. *Field segment* pertama dipasang di arah depan/belakang *pier segment*, dilakukan lagi penyesuaian koordinat untuk alinemen horisontal dan elevasi untuk alinemen vertikal untuk kedua segmen. Kemudian dilakukan *grouting pot bearing*.
5. Kemudian dipasang *field segment-field segment* yang lain sampai selesai satu kantilever.
6. Pemasangan dilanjutkan ke kantilever yang berikutnya.
7. Setelah 1 buah kantilever selesai dibangun maka kantilever tersebut disatukan dengan kantilever sebelumnya.

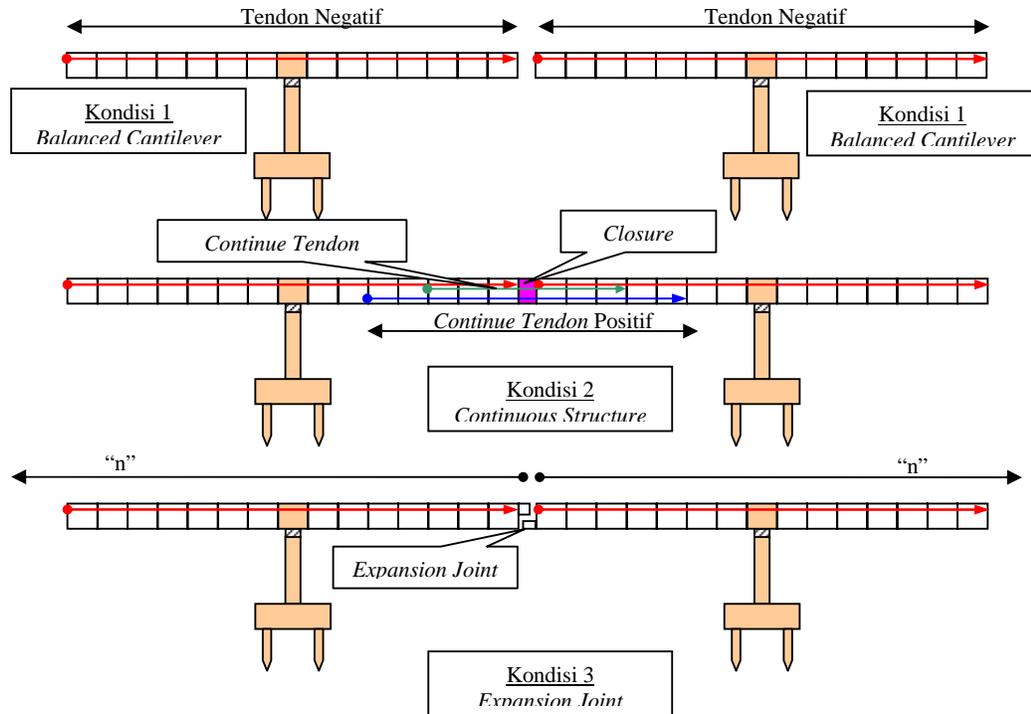
2.5 Tinjauan Desain Struktur

Hal yang penting untuk dipertimbangkan dari desain struktur jembatan adalah dari awal perencanaan harus sudah dipilih metode yang akan digunakan untuk membangun, karena untuk struktur jembatan terkadang gaya-gaya dalam selama konstruksi justru lebih besar dari gaya-gaya dalam saat servis layan. Dengan kata lain tulangan baja atau kabel prategang yang disediakan justru lebih banyak digunakan untuk menahan gaya-gaya dalam selama konstruksi daripada saat servis layan.

Dalam desain struktur *balanced cantilever* ada tiga kondisi struktur penting dari saat konstruksi sampai dengan servis layan yang harus diperhatikan, yaitu:

1. Kondisi 1 – *Balanced Cantilever*, saat konstruksi dilakukan kondisi strukturnya adalah kantilever murni, struktur tersebut dibuat seimbang dengan tujuan supaya struktur tersebut mampu menahan beratnya sendiri tanpa bantuan alat berat atau perancah. Walaupun dinamakan metode kantilever seimbang tetapi pada kenyataannya akan selalu terjadi kondisi tidak seimbang untuk 1 segmen pracetak. Untuk mengurangi efek ketidak seimbangan kantilever yang besar dapat digunakan tumpuan-tumpuan sementara (*temporary support*) dengan tujuan mengubah momen tidak seimbang menjadi gaya-gaya aksial yang disalurkan ke tanah, dengan disediakan pondasi yang memadai. Pada tahap ini harus disediakan kabel prategang (*tendon*) untuk menahan aksi momen lentur kantilever, karena momen lentur kantilever adalah momen lentur negatif maka tendon disediakan di bagian atas segmen. Tendon tersebut didesain untuk menahan kantilever sepanjang $\frac{1}{2}$ bentang struktur.
2. Kondisi 2 – *Continuous Structure*, setiap 2 struktur kantilever terbangun maka kedua struktur tersebut harus disatukan agar menjadi struktur statis tak tentu (*continuous structure*). Sebagai struktur menerus maka momen lentur yang terjadi adalah negatif di bagian tumpuan pilar dan positif di bagian lapangan. Momen lentur negatif di tumpuan pilar sebagian sudah ditahan oleh tendon yang disediakan untuk aksi kantilever (jika masih cukup, tapi jika kurang maka harus ditambahkan tendon negatif yang baru). Untuk menahan momen lentur positif maka ditambahkan *continue tendon* positif di bagian bawah segmen pracetak daerah lapangan, mungkin juga diperlukan *continue tendon negatif* di bagian atas daerah lapangan, jika ada tegangan tarik berlebih.
3. Kondisi 3 – *Continuous Structure with Expansion Joint*, antar struktur menerus terdapat *expansion joint* yang berfungsi untuk mengakomodasi pergerakan struktur menerus satu dengan yang lainnya. *Expansion joint* ini bersifat sebagai tumpuan sendi gerber yang

dapat menyalurkan gaya vertikal ke struktur di sebelahnya, tetapi tidak bersifat untuk menyalurkan momen lentur.



Gambar 3. Kondisi Struktur Metode *Balanced Cantilever*.

3. STUDI KASUS PADA JALAN LAYANG PASUPATI

3.1 Umum

Jalan layang PASUPATI berlokasi di Bandung, menghubungkan antara daerah Barat dengan daerah Timur, di daerah barat dimulai dari Jalan DR. Djunjunan menuju ke daerah timur di Jalan Surapati dengan panjang jalan berkisar 2,5 kilometer. Master plan proyek tersebut sudah ada sejak tahun 1930 dan baru direalisasikan pada tahun 1999 dengan dana bantuan dari Kuwait. Proyek tersebut baru dapat diselesaikan dan difungsikan pada tahun 2005.

Sebuah hal yang menarik adalah pekerjaan *erection*, *casting*, dan desain struktur merupakan suatu rantai yang tidak dapat dipisahkan. Seorang perencana pekerjaan *erection*, perencana *casting yard* (lahan pembuatan segmen pracetak) dan perencana struktur harus mengetahui setiap tahap pekerjaan tersebut agar dapat melakukan pekerjaan perencanaan masing-masing bidang dengan baik. Seorang perencana *casting yard* harus mengetahui detail pekerjaan *erection*, setelah itu baru dapat merencanakan pekerjaan pembuatan segmen pracetak di *casting yard*. Perencana pekerjaan *erection* harus mengetahui bagaimana segmen

pracetak tersebut dibuat, sehingga segmen pracetak dapat dirakit tanpa kesalahan. Perencana struktur harus mengetahui bagaimana segmen-segmen pracetak dipasang/dirakit sehingga dapat menganalisis respon struktur dengan tepat.

3.2 Data-Data Struktur

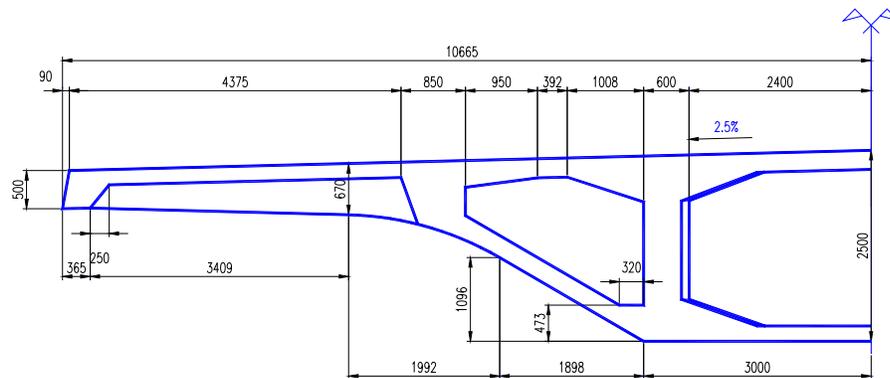
Berikut ini adalah beberapa data penting dari proyek tersebut di atas:

1. Jenis pondasi = pondasi tiang bor (Mutu beton K-350)
2. Pilar = pilar tunggal (Mutu beton K-450)
3. Badan jalan = *box girder* pracetak (Mutu beton K-450)
4. Jenis tumpuan = *mechanical pot bearing*
5. Panjang bentang = 44.5 meter
6. Lebar = 21 meter
7. Jenis konstruksi = beton bertulang untuk struktur bawah (pondasi, pilecap, pilar)
= beton prategang (*post-tensioned system*) untuk *box girder* pracetak

Material baja tulangan menggunakan baja tulangan ulir BJTD 40 dengan tegangan leleh $f_y=400$ MPa. Kabel prategang menggunakan *stress relieved 7-wires strand* dengan diameter 0.6" dengan nilai UTS = 1860 MPa (ASTM A-416).

3.3 Penampang Struktur

Badan jalan menggunakan penampang *box girder*, penampang *box girder* tersebut mempunyai keuntungan yaitu kekakuan torsi yang besar. Ada dua jenis *box girder* yaitu yang digunakan di tumpuan (tepat di atas pilar), di lokasi tersebut digunakan diafragma karena penampang tersebut harus menahan reaksi vertikal yang sangat besar dari tumpuan pot bearingnya. *Box girder* yang di lapangan tidak menggunakan diafragma, hanya terdiri dari pelat dan elemen vertikal yang disebut *web*.



Gambar 4. Penampang Box Girder Jalan Layang PASUPATI.

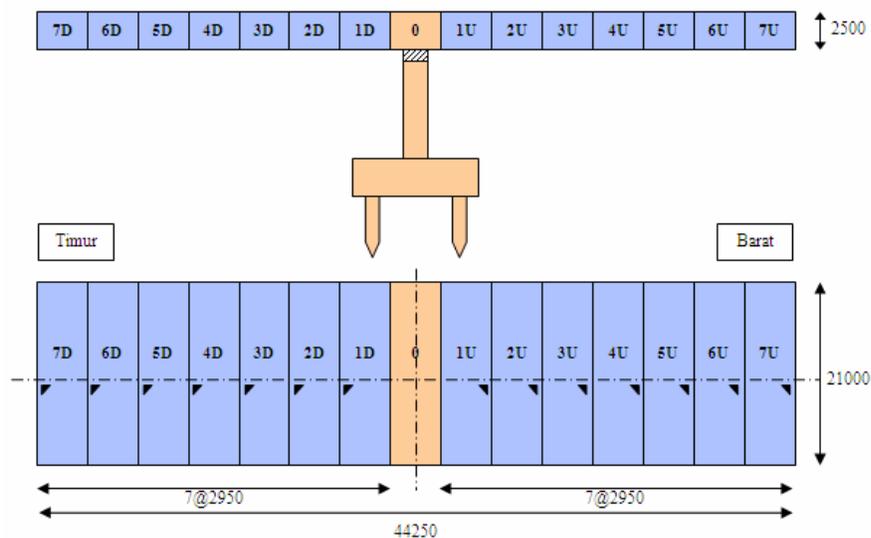
3.4 KONSTRUKSI *BALANCED CANTILEVER*

3.4.1 Umum

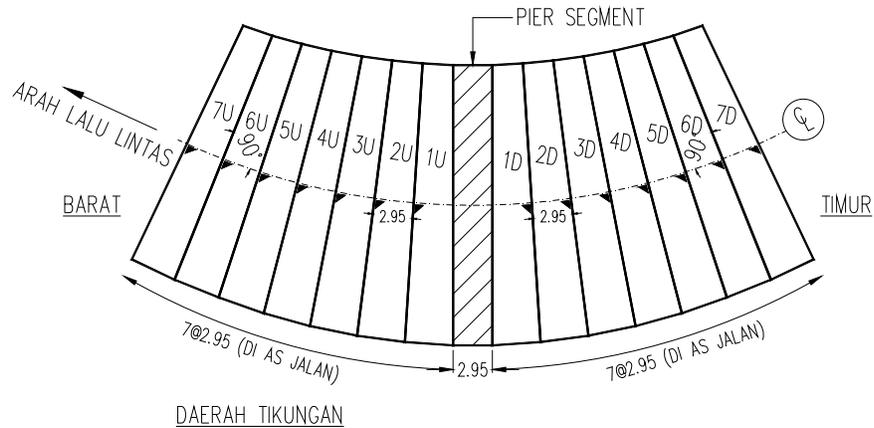
Proyek jalan layang PASUPATI dibangun menggunakan metode *precast segmental balanced cantilever*. Dengan pertimbangan agar tidak mengganggu lalu lintas jalan di bawahnya maka pembangunan harus dilakukan dari atas, dengan memanfaatkan efek kantilever seimbangnyanya struktur dapat menahan berat sendirinya. Pembangunan jalan tersebut menggunakan alat khusus yang dinamakan *launching gantry* yang merupakan rangka batang baja yang didesain dapat bergerak sendiri (*self launching*) di atas jalan layang tanpa mengganggu aktivitas di bawah jalan.

3.4.2 Pembagian Segmen Pracetak

Dalam satu bentang struktur PASUPATI yaitu 44.5 meter, terdapat 14 segmen pracetak lapangan (*field segment*) dengan 2 segmen pracetak tumpuan (*pier segment*), di tengah bentang ditutup dengan *closure pour* setebal 250 mm. Dalam satu kantilever terdapat 14 segmen pracetak lapangan dengan 1 segmen pracetak tumpuan. Panjang satu segmen pracetak adalah 2950 mm, dengan lebarnya 21000 mm. Sehingga dalam satu kantilever terdapat 14 x 2950 mm segmen pracetak lapangan = 41300 mm, ditambah dengan segmen pracetak tumpuan = 2950 mm, panjang total satu kantilever menjadi 44250 m. Panjang satu bentang adalah (15 x 2950mm)+250mm=44500 mm. Untuk daerah lurus segmen pracetak berbentuk persegi dengan panjang 2950 mm, untuk daerah tikungan panjang segmen 2950 mm diukur di as jalan, sehingga segmen pracetak berbentuk trapesium.



Gambar 5a. Pembagian segmen pracetak – daerah lurus.



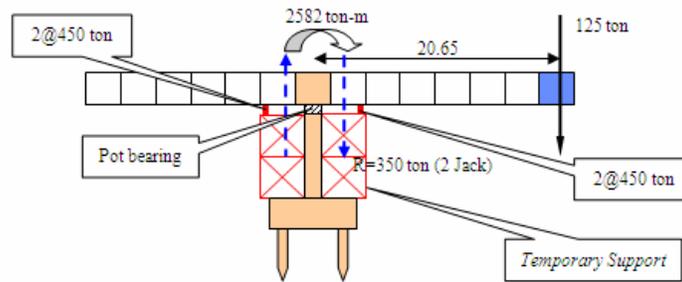
Gambar 5b. Pembagian segmen pracetak – daerah tikungan.

3.4.3 Transportasi Segmen Pracetak

Transportasi segmen pracetak dari pabrik (lokasi pabrik di Baros, Cimahi) dilakukan menggunakan *low bed trailer* yang dirancang khusus manuvernya sehingga dapat mengakomodasi semua kondisi di jalan. Segmen pracetak yang pertama kali dikirim adalah *pier segment* kemudian disusul oleh *field segment* berikutnya.

3.4.4 Temporary Support

Untuk menahan aksi kantilever tidak seimbang (*unbalanced moment*)/momen guling digunakan *temporary support* dan *hydraulic jack*, hal tersebut bertujuan untuk merubah momen tidak seimbang menjadi gaya aksial sehingga solusi struktur menjadi lebih mudah. Perhitungan sederhananya, berat *field segment* berkisar 125 ton, diangkat menggunakan *launching gantry*. Nilai momen guling maksimum akibat kantilever tidak seimbang 1 segmen adalah saat pemasangan *field segment* terakhir, sehingga momen gulingnya menjadi $125 \text{ ton} \times 20,65 \text{ meter} = 2582 \text{ tm}$. Momen guling ini dijadikan gaya aksial yang nantinya ditahan oleh *hydraulic jack*, dengan lengan momen sekitar $2,5 \times 2,95 \text{ meter}$ maka gaya aksial tekan menjadi $2582 \text{ ton-meter} / 7,37 \text{ meter} = 350 \text{ ton}$ (2 jack), untuk 1 jack menjadi 175 ton. Gaya-gaya lain yang dapat menyebabkan momen guling juga harus dimasukkan seperti beban alat konstruksi, angin, *launching gantry*, kondisi saat tanjakan, *stressing platform* dll. Dari perhitungan teliti total gaya yang bekerja tidak lebih dari 450 ton, maka disediakan *Hydraulic jack* 450 ton.

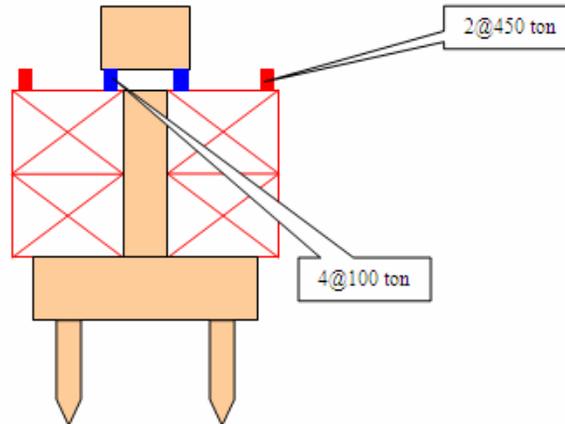


Gambar 6. Konsep *Temporary Support*.

3.4.5 Pemasangan *Pier Segment*

Segmen pracetak yang pertama kali dipasang adalah *pier segment*, pilar di bawahnya sudah dipersiapkan, pot bearing sudah disiapkan tetapi belum diaktifkan. *Temporary support* untuk menahan aksi kantilever tidak seimbang sudah disiapkan di sisi kanan dan sisi kiri pilar. Berat 1 buah *pier segment* adalah sekitar 160 ton, karena pot bearing belum bisa diaktifkan maka saat *pier segment* diletakkan di atas pilar harus ditahan oleh tumpuan sementara, untuk kebutuhan tersebut digunakan 4 buah *hydraulic jack* dengan kapasitas masing-masing adalah 100 ton. *Hydraulic jack* tersebut juga berfungsi untuk pengaturan elevasi dan koordinat segmen agar sesuai dengan nilai desain. Faktor keamanan yang digunakan adalah sekitar $(4 \times 100 \text{ ton})/160 \text{ ton} = 2,5$, untuk konstruksi berat disarankan agar nilai $FK \geq 2,0$. *Pier segment* diangkat menggunakan *launching gantry*. Setelah *pier segment* ditumpu oleh *hydraulic jack 4@100 ton* maka dilakukan pengaturan elevasi dan koordinat disesuaikan dengan elevasi dan koordinat desain. Berikut ini adalah proses pemasangan *pier segment*:

1. Pilar sudah selesai dicor, mutu beton sudah mencapai kuat tekan sesuai desain, *temporary support* sudah disiapkan. Pot bearing sudah disiapkan di atas pilar, tetapi belum digrouting.
2. Transportasi *pier segment* menggunakan *low bed trailer* dari *casting yard* menuju lokasi perakitan.
3. *Pier segment* diangkat menggunakan *launching gantry*.
4. *Pier segment* diletakkan di atas 4 buah *hydraulic jack @100 ton*, pemasangan *tie down* menggunakan stressbar diameter 40mm.
5. Pengaturan elevasi dan koordinat segmen.

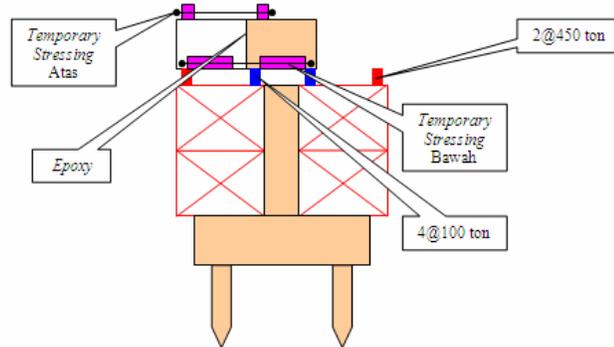


Gambar 7. Erection Pier Segment.

3.4.6 Pemasangan *Field Segment* “1D”

Segmen pracetak yang dipasang berikutnya adalah *field segment* “1D” tepat di sebelah *pier segment* yang menuju kearah abutment (lapangan Gasibu). Pemasangan *field segment* menggunakan epoxy dan *temporary stressing* untuk melekatkan antar segmen. Fungsi dari *temporary stressing* ini adalah untuk menahan berat sendiri segmen karena tendon kantilever belum bisa dipasang. *Field segment* pertama (“1D”) ini ditumpu di atas 2 *hydraulic jack* dengan kapasitas masing-masing jack 450 ton. Fungsi utama jack tersebut adalah untuk menahan aksi kantilever tidak seimbang 1 segmen, juga digunakan untuk pengaturan elevasi dan koordinat *pier segment* dan *field segment*. Setelah elevasi dan koordinat sudah sesuai kemudian dilakukan grouting pot bearing. Berikut ini adalah proses pemasangan *field segment* “1D”:

1. *Pier segment* sudah diletakkan diatas 4 *hydraulic jack* @100 ton, pot bearing belum digrouting.
2. *Field segment* “1D” diangkat menggunakan *launching gantry*.
3. *Temporary stressing* bagian atas dan bawah, epoxy antara *pier segment* dengan *field segment* “1D”.
4. Pengaturan elevasi dan koordinat *pier segment* dan *field segment*.
5. Grouting pot bearing.

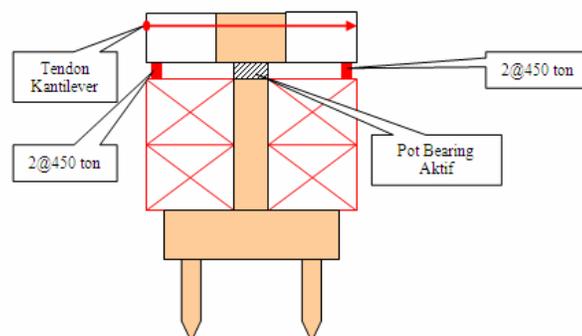


Gambar 8. Temporary Stressing Pier Segment dengan "1D".

3.4.7 Pemasangan *Field Segment* "1U"

Segmen pracetak yang dipasang berikutnya adalah *field segment* "1U" tepat di sebelah *pier segment* yang menjauhi abutment (menuju Taman Sari). Pemasangan *field segment* "1U" menggunakan epoxy dan *temporary stressing* seperti segmen "1D", pengaturan elevasi dan koordinat sudah tidak dapat dilakukan lagi karena pot bearing sudah digrouting. Tendon kantilever dipasang untuk pertama kalinya di kondisi ini, tendon ini dipasang sepanjang 3 segmen yaitu "1U"-P-"1D". Berikut ini adalah proses pemasangan *field segment* "1U":

1. *Pier segment* dan *field segment* "1D" sudah terpasang, pot bearing sudah aktif.
2. *Field segment* "1U" diangkat menggunakan launching gantry.
3. *Temporary stressing* bagian atas dan bawah, epoxy antara *pier segment* dengan *field segment* "1U".
4. Tendon kantilever dipasang sepanjang "1U"-P-"1D".
5. *Hydraulic jack* 4@100 ton dilepas, struktur menumpu di pot bearing dan *hydraulic jack* 4@450 ton.

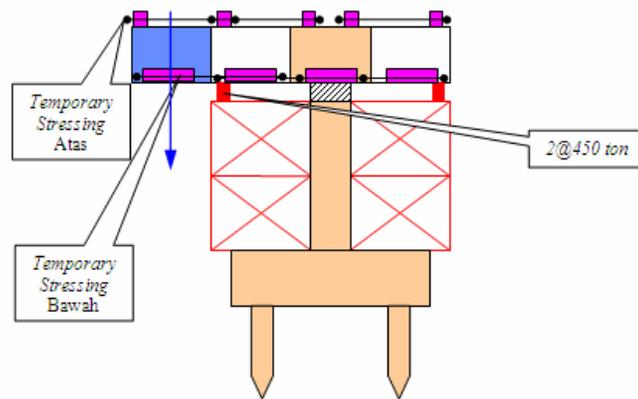


Gambar 9. Tendon Kantilever "1U" dengan "1D".

3.4.8 Pemasangan *Field Segment* “2D”

Segmen pracetak yang dipasang berikutnya adalah *field segment* “2D” tepat di sebelah *field segment* 1-D. Pada kondisi ini pertama kalinya terjadi momen tidak seimbang 1 segmen dari pemasangan *field segment*, momen guling ini ditahan oleh *hydraulic jack* 2@450 ton. Berikut ini adalah proses pemasangan *field segment* “2D”:

1. *Field segment* “2D” diangkat menggunakan *launching gantry*.
2. *Temporary stressing* bagian atas dan bawah, epoxy antara *field segment* “1D” dengan *field segment* “2D”.
3. Terjadi kondisi kantilever tidak seimbang 1 segmen akibat pemasangan *field segment* “2D”. Momen guling ditahan oleh *hydraulic jack* 2@450 ton.

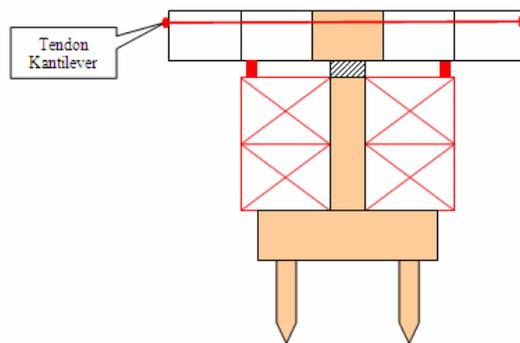


Gambar 10. *Temporary Stressing* “1D” dengan “2D”.

3.4.9 Pemasangan *Field Segment* “2U”

Segmen pracetak yang dipasang berikutnya adalah *field segment* “2U” tepat di sebelah *field segment* “1U”. Momen tidak seimbang oleh segmen “2D” diimbangi oleh segmen “2U”, sehingga kondisinya menjadi *balanced cantilever*. Tendon kantilever dipasang sepanjang 5 segmen yaitu 2U”-“1U”-P-“1D”- 2D”. Berikut ini adalah proses pemasangan *field segment* “2U”:

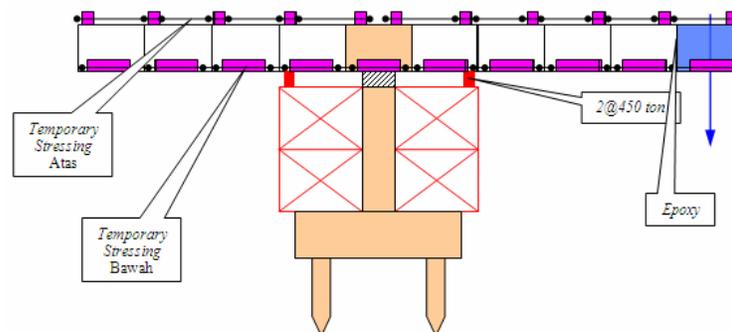
1. *Field segment* “2U” diangkat menggunakan *launching gantry*.
2. *Temporary stressing* bagian atas dan bawah, epoxy antara *field segment* “1U” dengan *field segment* “2U”.
3. Terjadi kondisi kantilever seimbang setelah pemasangan *field segment* “2D”.
4. Tendon kantilever dipasang sepanjang “2U”-“1U”-P-“1D”-“2D”.



Gambar 11. Tendon Kantilever “2U” dengan “2D”.

3.4.10 Pemasangan *Field Segment Lainnya*

Pemasangan *field segment* ke-3, ke-4, ke-5, ke-6 dan ke-7 dilakukan dengan metode yang sama seperti segmen-segmen sebelumnya. Setiap pemasangan segmen yang baru dilakukan menggunakan *temporary stressing* dan epoxy. Akan terjadi kondisi *unbalanced cantilever* 1 buah segmen yang ditahan oleh *temporary support* kemudian akan diimbangi saat segmen pasangannya sudah terpasang sehingga menjadi *balanced cantilever*. Setelah kondisi *balanced cantilever* tercapai, maka dipasang tendon kantilever.

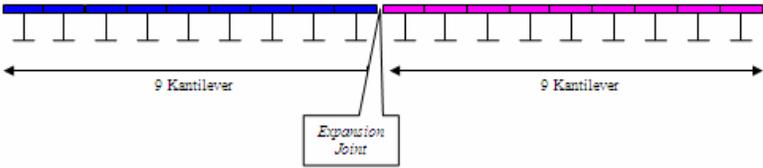


Gambar 12. Erection *Field Segment* “5U”.

3.4.11 Penggabungan Struktur-Struktur Kantilever

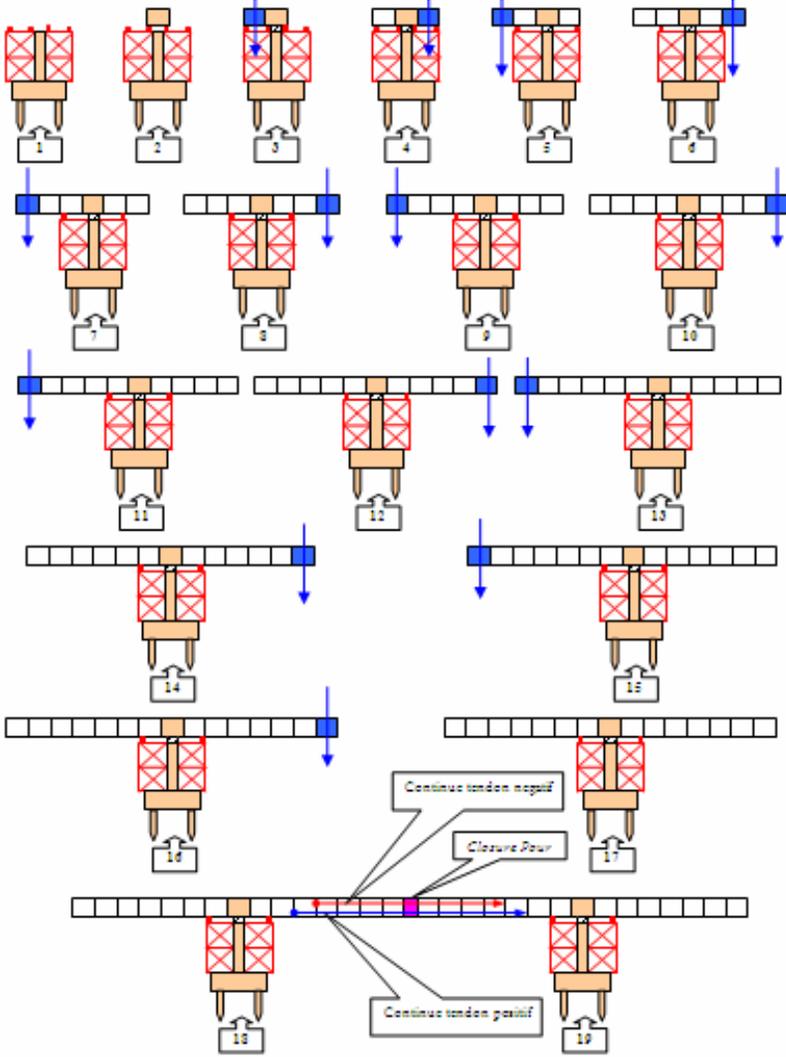
Setiap struktur kantilever seimbang selesai dibangun, maka struktur kantilever tersebut harus disatukan dengan struktur kantilever sebelumnya menggunakan *continue tendon* positif yang berada di bagian bawah segmen pracetak daerah lapangan, juga dengan *continue tendon* negatif di daerah lapangan jika ada tegangan tarik beton berlebih. Sebelum dilakukan penarikan *continue tendon* negatif dan positif, *closure pour* antara struktur kantilever harus sudah dicor dan harus sudah mencapai kuat tekan rencana.

Setelah struktur kantilever seimbang disatukan maka struktur menjadi struktur rangka menerus, untuk proyek PASUPATI ini rangka menerus terdiri dari 9 struktur kantilever seimbang. Setiap 9 struktur kantilever, di ujungnya dipasang *expansion joint* untuk mengakomodasi pergerakan antar struktur menerus.



Gambar 13. Expansion Joint Setiap 9 Kantilever.

4. SKEMATIK DESAIN DAN ILUSTRASI FOTO



Gambar 14. Skematik desain.



Erection pier segment, didukung oleh 4@100 ton hydraulic jack. Pot bearing belum digrouting. Dilakukan pengaturan koordinat dan elevasi segmen.



Erection pier segment, didukung oleh 4@100 ton hydraulic jack. Pot bearing belum digrouting. Dilakukan pengaturan koordinat dan elevasi segmen.



Erection "ID" segment, didukung oleh hydraulic jack 2@450 ton. Temporary stressing dan epoxy dilakukan. Setelah koordinat dan elevasi segmen tercapai, pot bearing digrouting.



Erection "ID" segment, didukung oleh hydraulic jack 2@450 ton. Temporary stressing dan epoxy dilakukan. Setelah koordinat dan elevasi segmen tercapai, pot bearing digrouting.



Temporary stressing bagian atas. Menggunakan blister baja dengan stressbar diameter 40mm.



Temporary stressing bagian bawah. Menggunakan blister beton dengan stressbar diameter 40mm dan strand 0.5".

Gambar 15a. Foto Tahapan Erection.



Erection "1U" segment, didukung oleh hydraulic jack 2@450 ton. Temporary stressing dan epoxy dilakukan. Pot bearing sudah digrouting, hydraulic jack 4@100 ton dilepas.



Pemasangan tendon kantilever untuk segmen "1U"-P-"1D".



Erection "2U" segment, temporary stressing dan epoxy dilakukan. Timbul momen tidak seimbang 1 segmen.



Erection "2D" segment, temporary stressing dan epoxy dilakukan. Kondisi kantilever seimbang.



Pemasangan tendon kantilever untuk segmen "2U"- "1U"-P-"1D"- "2D".



Erection "7U" segment, temporary stressing dan epoxy dilakukan. Timbul momen tidak seimbang 1 segmen.

Gambar 15b. Foto Tahapan Erection.



Erection "7D" segment, temporary stressing dan epoxy dilakukan. Kondisi kantilever seimbang.



Pemasangan tendon kantilever untuk segmen "7U"- "6U"- "5U"- "4U"- "3U"- "2U"- "1U"- "P"- "1D"- "2D"- "3D"- "4D"- "5D"- "6D"- "7D".



Struktur kantilever seimbang pier E19, di depan Rumah Makan Ayam Tojoyo.



Struktur kantilever seimbang pier E18, di persimpangan Dago (BCA).



Detail 1a – Temporary stressing bagian atas, menggunakan blister baja, stressbar diameter 40mm.



Detail 1b – Temporary stressing bagian atas, menggunakan blister baja, stressbar diameter 40mm.

Gambar 15c. Foto Tahapan Erection.



Detail 2a – *Temporary stressing* bagian bawah, menggunakan blister beton, stressbar diameter 40mm dan tendon 0.5”.



Detail 2b – *Temporary stressing* bagian bawah, menggunakan blister beton, stressbar diameter 40mm dan tendon 0.5”.



Detail 3a – Epoxy antar segmen.



Detail 3b – Epoxy antar segmen.



Detail 4a – Duct tendon kantilever.



Detail 4b – *Stressing* tendon kantilever.

Gambar 15d. Foto Tahapan Erection.



Detail 5a – Pengaturan koordinat & elevasi.



Detail 5b – *Control point* untuk elevasi dan koordinat.



Detail 6a – *Temporary support* dan *hydraulic jack* untuk momen tidak seimbang 1 segmen.



Detail 6b – *Temporary support* dan *hydraulic jack* untuk momen tidak seimbang 1 segmen.



Detail 7a – Transportasi segmen pracetak.



Detail 7b – Transportasi segmen pracetak.

Gambar 15e. Foto Tahapan *Erection*.



Detail 8a – *Continue tendon* positif (bagian bawah), menggunakan blister beton.



Detail 8b – *Continue tendon* negatif (bagian atas), menggunakan blister beton.



Detail 9a – *Erection pier segment* menggunakan crane (Pier E18-simpang DAGO BCA).



Detail 9a – *Erection pier segment* menggunakan crane (Pier E18-simpang DAGO BCA).



Detail 10a – Struktur kantilever E19 dan E18 (Simpang Dago BCA).



Detail 10b – Struktur kantilever E19 dan E18 (Simpang Dago BCA).

Gambar 15f. Foto Tahapan *Erection*.

5. KESIMPULAN

Metode konstruksi *precast segmental balanced cantilever* berhasil dengan baik digunakan dalam pembangunan proyek PASUPATI. Dengan berhasilnya metode tersebut mungkin dapat dijadikan acuan untuk pembangunan proyek-proyek lain yang sejenis di masa mendatang.

Tidak dapat dipungkiri bahwa metode tersebut selain mempunyai keuntungan dan juga hambatan yang tidak sedikit. Keuntungannya sudah dapat dipastikan bahwa dengan memanfaatkan efek kantilever seimbangnnya struktur dapat menahan berat sendirinya tanpa diperlukan sokongan lain (perancah), selain itu lalu lintas jalan dibawahnya tidak terganggu, gangguan hanya bersifat sementara saja seperti saat transportasi segmen pracetak. Hambatan-hambatan yang perlu diperhatikan seperti proses pembelajaran yang cukup lama dimulai dari perencanaan *casting yard*, perencanaan pekerjaan *erection* dll. Diperlukan juga investasi yang cukup mahal untuk beberapa alat berat yang digunakan di *casting yard*, dan alat berat untuk *erection* segmen pracetak.

DAFTAR PUSTAKA

1. Chen, Wai Fah, Duan, Lian (2003), *Bridge Engineering Construction and Maintenance*, CRC Press, USA.
2. Chen, Wai Fah, Duan, Lian (2000), *Bridge Engineering Handbook*, CRC Press, USA.
3. VSL Intrafor Technical Center Asia/Australia (2001), *Technical Analysis & Design Documents*, Singapore.
4. Florida Department of Transportation (1989), *A Guide of Segmental Construction Bridges*, USA.
5. Mathivat, Jacques (1984), *The Cantilever Construction of Prestressed Concrete Bridges*, John Wiley & Sons, USA.

BEBAN PENCEMARAN SUMBER LIMBAH DI SUNGAI CODE

Titiek Widyasari

Dosen Tetap, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra
Jalan Tentara Rakyat Mataram No. 55 - 57 Yogyakarta 55231
E-mail : titiekwidyasari@gmail.com; myson_jayastu@yahoo.co.id

ABSTRACT

Code river is one of river in Yogyakarta, which own strategic area, where is Code river through urban area that densely populated area. Monitoring was executed by Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Daerah (BAPEDALDA) Yogyakarta, it is a river water quality monitoring, it hasn't at waste water resources quality. Therefore, necessary to research about waste water resources quality monitoring at Code river. The study area is located in alongside Code river, from Gondolayu bridge until Mas Suharto bridge, river length thereabouts 2 km², because the location own strategic area through urban area that densely populated area. Identification waste water resources which wasted to Code river, is 25 location at east side and 41 location at west side. Discharge activity asynchronous. In point 12 A, according to quantity and quality is greatest, it is communal canal from mansions at Kota Baru area that densely populated area and its discharge activity continues. The result research about domestic waste water quantity is 5.44 L/s. At 66 location waste water resources, BOD parameter less than limit of threshold value, so is still agree with domestic waste water quality standard. But in quantity monitoring is derived that the actual pollution load BOD parameter is 46.83 kg/day more than maximum pollution load BOD parameter what is licensed, it is 25.80 kg/day. So waste water resources at study area have polluted Code river. Therefore, effort about pollution control at Code river is necessary quality and quantity monitoring waste water resources incessantly and periodic by the stakeholders in active.

Keywords: Domestic waste water, Waste water resources, Code river.

ABSTRAK

Sungai Code merupakan salah satu sungai yang melalui wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) dan memiliki lokasi strategis, bagian tengah daerah pengaliran sungai Code melintasi daerah perkotaan yang padat penduduk. Pemantauan yang dilaksanakan tersebut merupakan pemantauan kualitas air sungai, belum pada kualitas sumber limbah. Penelitian mengenai pemantauan debit dan kadar BOD sumber limbah yang membebani sungai Code perlu dilakukan. Lokasi penelitian di sepanjang sungai Code dari Jembatan Gondolayu sampai Jembatan Mas Suharto, panjang sungai kurang lebih 2 km, dengan pertimbangan lokasi penelitian melalui wilayah perkotaan. Identifikasi sumber limbah yang membuang ke sungai Code sebanyak 25 lokasi di sisi timur dan 41 lokasi di sisi barat. Aktifitas pembuangan limbah tidak serempak dan tidak semua saluran limbah yang ada di lokasi penelitian melakukan aktifitas pembuangan. Titik 12A merupakan sumber limbah dengan debit dan kadar BOD terbesar serta saluran yang terus menerus mengalir. Titik 12A merupakan saluran komunal yang berasal dari rumah-rumah di kawasan Kota Baru yang cukup padat dan saluran tersebut berfungsi juga sebagai riol kota. Total air limbah domestik pada saat penelitian ini sebesar 5,44 L/detik. Dari 66 lokasi sumber limbah, sebagian besar kadar BOD berada di bawah atau lebih kecil dari nilai ambang batas (NAB) sehingga masih memenuhi baku mutu limbah domestik. Secara pemantauan kuantitas didapat beban pencemaran aktual (BPA) BOD sebesar 46,83 kg/hari lebih besar dibandingkan dengan beban pencemaran maksimum yang diizinkan (BPM) BOD sebesar 25,80 kg/hari, sehingga dapat disimpulkan beban pencemaran dari sumber limbah pada lokasi penelitian mencemari sungai Code. Upaya pengendalian pencemaran di sungai Code adalah perlu pemantauan kualitas dan kuantitas sumber limbah secara periodik dan berkelanjutan, serta perlu mengikutsertakan masyarakat, swasta, industri dan pemerintah untuk terlibat aktif dalam pengelolaan sungai.

Kata Kunci: Limbah domestik, Sumber limbah, Sungai Code.

1. PENDAHULUAN

Sungai sebagai badan air yang bersifat terbuka yang memiliki banyak fungsi yang memerlukan usaha secara terus menerus dalam pengelolaan, baik pada sungai itu sendiri maupun pada daerah tangkapan sungai. Sungai juga merupakan sumber daya alam yang sangat penting bagi kehidupan manusia dan menjaga fungsi keseimbangan alam. Berkaitan dengan kebutuhan air yang cenderung meningkat, maka perlu membuat langkah nyata dalam menjaga kelestarian sumber daya air sungai.

Sungai Code merupakan salah satu sungai yang melalui wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) dan memiliki lokasi straregis, karena daerah aliran sungai (DAS) dan alur sungai melewati Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta dan Kabupaten Bantul. Bagian tengah daerah pengaliran sungai Code melintasi daerah perkotaan yang padat penduduk. Pertambahan jumlah penduduk, maka semakin sempit lahan pemukiman dan semakin sempit pula lahan untuk sarana pembuangan air limbah seperti *septictank* yang memenuhi syarat. Tanpa pengolahan yang baik, tentunya limbah ini akan terakumulasi dalam media lingkungan dan berakibat mencemari lingkungan. Air limbah akan mencemari badan air seperti sungai, bila air limbah dibuang langsung ke badan air. Tahun 2003, Departemen Kimpraswil menyatakan bahwa hampir 60% rumah tangga di Pulau Jawa langsung membuang limbahnya ke badan air terdekat (got atau sungai) tidak terkecuali sungai Code [Fiona, 2006]. Pengujian laboratorium beberapa instansi terkait menunjukkan bahwa kualitas air di perkotaan Yogyakarta sudah sangat memprihatinkan dan tidak layak untuk dikonsumsi. Sungai dengan kualitas air terburuk adalah sungai Code [Feybe, 2006]. Bagi warga yang mempunyai wc pribadi limbah cair dibuang langsung dari wc dan kamar mandi melalui pipa-pipa ke sungai dan bagi warga yang tidak mempunyai wc, sungai adalah pilihan favorit untuk membuang hajat [Pieter, 2007].

Berdasarkan uraian di atas maka perlu dilakukan penelitian mengenai pemantauan secara kuantitas yaitu debit dan secara kualitas yaitu besar kadar *Biochemical Oxygen Demand (BOD)* limbah yang membebani sungai Code. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kondisi beban pencemaran sumber limbah yang membuang limbahnya langsung ke sungai Code.

2. KAJIAN KUALITAS AIR SUNGAI CODE

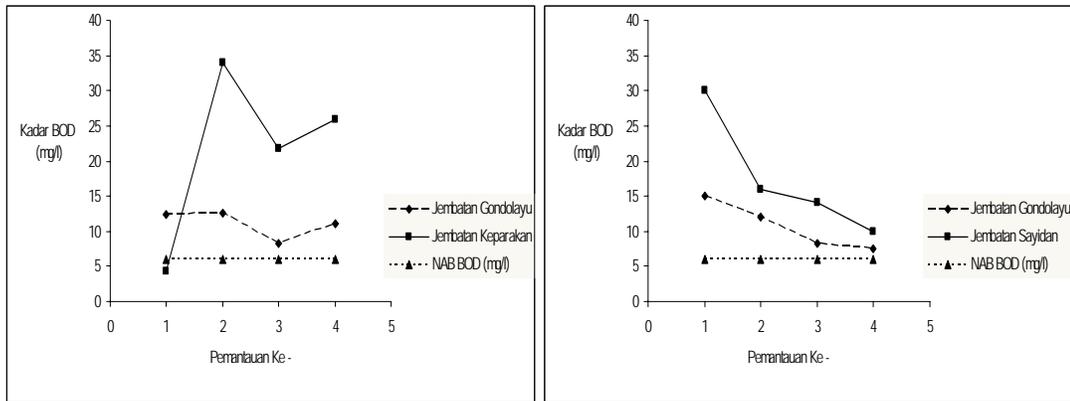
Sejalan dengan meningkatnya pertumbuhan industri dan perkembangan jumlah penduduk di DIY, maka kuantitas limbah semakin meningkat yang apabila dibuang langsung ke sungai akan menyebabkan pencemaran lingkungan. Adanya kecenderungan masyarakat dan sektor industri membuang limbah ke sungai semakin meningkat dari tahun ke tahun. Hal

tersebut tentu sangat menguatirkan mengingat dampak untuk masa mendatang tidaklah mudah dan murah untuk diatasi. Masalah pencemaran air pada saat ini sudah menyentuh berbagai kepentingan, yakni kepentingan manusia, hewan, tumbuhan dan organisme lain, karena dalam kehidupan selalu membutuhkan air untuk berlangsungnya segala aktifitas biologis, dimana air yang diperlukan adalah air yang kualitasnya memenuhi syarat baku mutu sesuai peruntukannya.

Pemerintah Daerah Propinsi DIY dalam upaya melaksanakan pengendalian pencemaran air pada badan air dan mendukung Program Kali Bersih perlu melakukan pemantauan secara periodik terhadap kualitas air sungai Code untuk mengetahui sedini mungkin tingkat pencemaran yang terjadi. Pemerintah Propinsi DIY melalui Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Daerah (BAPEDALDA) Propinsi DIY pada Tahun Anggaran 2005 dan 2006 melakukan pemantauan kualitas air badan air dengan salah satu sasaran yaitu sungai Code [Anonim, 2005 dan 2006].

Pemantauan kualitas air sungai Code dilakukan 4 kali dalam setahun. Pada tahun 2005 dilaksanakan di bulan April, Juni, Agustus dan Oktober. Sedangkan pada tahun 2006 dilaksanakan di bulan Februari, Mei, September dan Desember. Salah satu okasi pengambilan sampel dari 9 lokasi adalah pada tahun 2005 di jembatan Gondolayu dan jembatan Keparakan, sedangkan pada tahun 2006 di jembatan Gondolayu dan jembatan Sayidan.

Dari pemantauan kualitas air sungai Code pada tahun 2005 dan tahun 2006 diperoleh hasil seperti Gambar 1 sebagai berikut.



(a) Tahun 2005

(b) Tahun 2006

Gambar 1. Pemantauan Kadar BOD Air Sungai Code di Jembatan Gondolayu dan Jembatan Keparakan (Sumber: Anonim, 2005 dan 2006).

Dilihat dari Gambar 1 pada tahun 2005 dan tahun 2006 diperoleh kondisi air sungai Code di titik pemantauan mengalami peningkatan kadar BOD dan berada di atas Nilai Ambang Batas (NAB) BOD untuk kelas air sungai masuk kelas Tiga dengan NAB BOD sebesar 6 mg/l [Anonim, 2001]. Dimana klasifikasi mutu air dalam Peraturan Gubernur bahwa kelas Tiga adalah air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut [Anonim, 2007]. Pemantauan yang dilaksanakan oleh BAPEDALDA Propinsi DIY merupakan pemantauan kualitas air sungai, belum pada kualitas sumber limbah yang masuk ke sungai.

3. PENCEMARAN SUNGAI

3.1 Limbah Domestik

Limbah cair menurut sumbernya terdiri limbah dari kegiatan domestik (rumah tangga) dan kegiatan industri. Air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan pemukiman (*real estate*), rumah makan (restoran), perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama (Anonim, 2003). Limbah domestik adalah hasil buangan yang tidak terpakai dari kegiatan manusia sehari-hari seperti buangan cucian, mandi, dan air kotor (*tinja/black water*). Sumber limbah domestik meliputi kegiatan perumahan, perkantoran, perhotelan, pertokoan, rumah sakit kecuali yang berasal dari laboratorium yang berupa limbah B3 (Bahan Beracun dan Berbahaya), usaha *laundry*, usaha rumah makan dan lain-lain.

Baku mutu limbah domestik pada Lampiran Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup dirinci pada Tabel 1 [Anonim, 2003].

Tabel 1. Baku mutu limbah domestik.

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6 - 9
BOD	mg/l	100
TSS	mg/l	100
Minyak dan lemak	mg/l	10

Sumber: Anonim, 2003

BOD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh mikrobia untuk melakukan perombakan bahan organik dalam suatu perairan. Air yang bersih mengandung mikroba lebih sedikit dibanding air yang tercemar oleh bahan buangan, mikroba yang memerlukan oksigen untuk memecah bahan organik disebut bakteri aerobik. Apabila suatu badan air dicemari oleh zat-zat organik mikroba dapat menghabiskan oksigen yang terlarut dalam air (DO) untuk perombakan zat organik tersebut dan akan terjadi proses perombakan secara anaerob (tanpa menggunakan O₂) yang dapat mengakibatkan kematian untuk mahluk hidup dalam air sehingga menimbulkan bau busuk yang berakibat pada pencemaran udara. Pengujian BOD yang dapat diterima adalah pengukuran jumlah oksigen yang akan dihabiskan dalam waktu lima hari oleh organisme pengurai aerobik dalam suatu volume pada suhu 20⁰ C, hasilnya dinyatakan dalam ppm (*part per milion*) atau mg/liter. Air buangan domestik yang tidak mengandung limbah industri mempunyai nilai BOD kira-kira 200 ppm, ini berarti bahwa 200 ppm oksigen akan dihabiskan oleh contoh limbah sebanyak satu liter dalam waktu lima hari pada suhu 20⁰ C.

3.2 Beban Pencemaran Limbah Cair

Perhitungan beban pencemaran maksimum untuk menentukan mutu limbah cair merujuk pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No: 03/MENLH/1998 tanggal 15 Januari 1998. Penerapan baku mutu limbah cair pada pembuangan limbah cair melalui penetapan beban pencemaran maksimum seperti Tabel 2 berdasarkan pada jumlah unsur pencemar yang terkandung dalam air limbah cair.

Tabel 2. Baku mutu limbah cair Kawasan Industri dan Hotel.

PARAMETER	KADAR MAKSIMUM (mg/L)	
	KAWASAN INDUSTRI	KAWASAN HOTEL
BOD ₅	50	30
COD	100	100
TSS	200	50
pH	6,0 - 9,0	
Debit Limbah cair Maksimum 1 L/detik/ha lahan kawasan terpakai		

Sumber: Anonim, 1995 dan Anonim, 1998a

Rumus perhitungan beban pencemaran maksimum yang diizinkan dan beban pencemaran sebenarnya adalah sebagai berikut [Anonim, 1998b]:

$$\text{BPM} = (\text{Cm})_j \times \text{Dm} \times \text{A} \times \text{f} \quad (1)$$

dimana:

BPM = beban pencemar maksimum yang diperbolehkan (kg/hari),

$(\text{Cm})_j$ = kadar maksimum parameter pada Tabel 1 (mg/L),

Dm = debit limbah cair seperti Tabel 1 sebesar 1 L/detik/ha,

A = luas lahan kawasan yang terpakai (ha),

f = faktor konversi sebesar 0,086.

$$\text{BPA} = (\text{CA})_j \times \text{DA} \times \text{f} \quad (2)$$

dimana:

BPA = beban pencemar sebenarnya (aktual) yang dibuang (kg/hari),

$(\text{CA})_j$ = kadar sebenarnya parameter pada Tabel 2 (mg/L),

DA = debit limbah cair sebenarnya (L/detik).

Evaluasi penilaian beban pencemaran adalah BPA tidak boleh melebihi BPM. Bila BPA lebih besar dari BPM maka kawasan terpakai tercemar oleh sumber limbah. Sedangkan bila BPA lebih kecil dari BPM maka kawasan terpakai tidak tercemar oleh sumber limbah.

4. METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian di sepanjang sungai Code dari Jembatan Gondolayu sampai Jembatan Mas Suharto, panjang sungai kurang lebih 2 km. Dasar pertimbangan pemilihan lokasi penelitian adalah sungai melalui wilayah perkotaan Kota Yogyakarta, dimana kondisi sekitar sungai berupa pemukiman penduduk yang padat, ada kegiatan industri, pertokoan, perkantoran, usaha rumah makan, perhotelan, usaha *laundry* dan lain-lain. Penelitian tidak dilakukan sepanjang Sungai Code yang melintasi Kota Yogyakarta, karena terkait dengan keterbatasan dana dan waktu.

4.2 Tahapan Penelitian

Identifikasi sumber limbah dengan cara menyusur sungai baik sisi barat maupun sisi timur (kanan dan kiri) untuk identifikasi sumber limbah yang membuang ke sungai Code dengan cara melihat saluran limbah yang berada di tebing atau di bantaran sungai. Saluran yang diamati dan diidentifikasi adalah saluran yang masih digunakan atau air limbah mengalir secara terus menerus. Identifikasi meliputi pengukuran posisi sumber limbah

(saluran dari rumah tangga/*riool* kota/industri) dengan *Global Positioning System* (GPS), menandai lokasi/saluran, mencatat kondisi saluran dan mencatat nama daerah administrasi. Dokumentasi berupa foto ditiap saluran pembuangan limbah ke sungai Code. *Plotting* data GPS ke peta sungai Code.

Dari peta posisi atau lokasi sumber limbah yang diperoleh dilakukan pengukuran debit air limbah ditiap lokasi, pengambilan sampel dan pemeriksaan kadar BOD di laboratorium.

5. HASIL PENELITIAN

5.1 Hasil Identifikasi Lokasi Sumber Limbah

Penelitian ini terdiri dari 2 kegiatan yaitu kegiatan 1 menyusur sungai, kegiatan 2 pengukuran debit dan pengambilan sampel. Kegiatan 1 dilaksanakan pada tanggal 5 Mei 2008, sedangkan kegiatan 2 dilaksanakan pada tanggal 22 Mei 2008. Hasil penelitian mengidentifikasi sumber limbah yang dibuang ke sungai Code sebanyak 25 lokasi di sisi timur dan 41 lokasi di sisi barat sepanjang lokasi penelitian dari Jembatan Gondolayu sampai Jembatan Mas Suharto.

5.2 Analisis Debit Sumber Limbah

Lokasi sumber limbah yang diperoleh pada kegiatan 1, kemudian dilakukan pengukuran debit dan pengambilan sampel. Kegiatan pengukuran debit dilakukan pada pagi hari jam 09.00 sampai dengan 11.00 wib. Sumber limbah di sisi timur ada 12 atau 48 % saluran yang mengalir (ada aktifitas pembuangan limbah) dengan total debit sebesar 1.888 ml/s \approx 1,9 l/s dan rata-rata 76 ml/s, sedangkan aliran terbesar di titik 12A sebesar 500 ml/s. Sumber limbah di sisi barat ada 28 atau 68 % ada aktifitas pembuangan limbah dengan total debit sebesar 2.149 ml/s \approx 2,15 l/s dan rata-rata 86 ml/s, sedangkan aliran terbesar di 18B sebesar 500 ml/s. Adapun jumlah total air limbah domestik yang dibuang ke sungai Code pada penelitian ini sebesar 4,05 l/s.

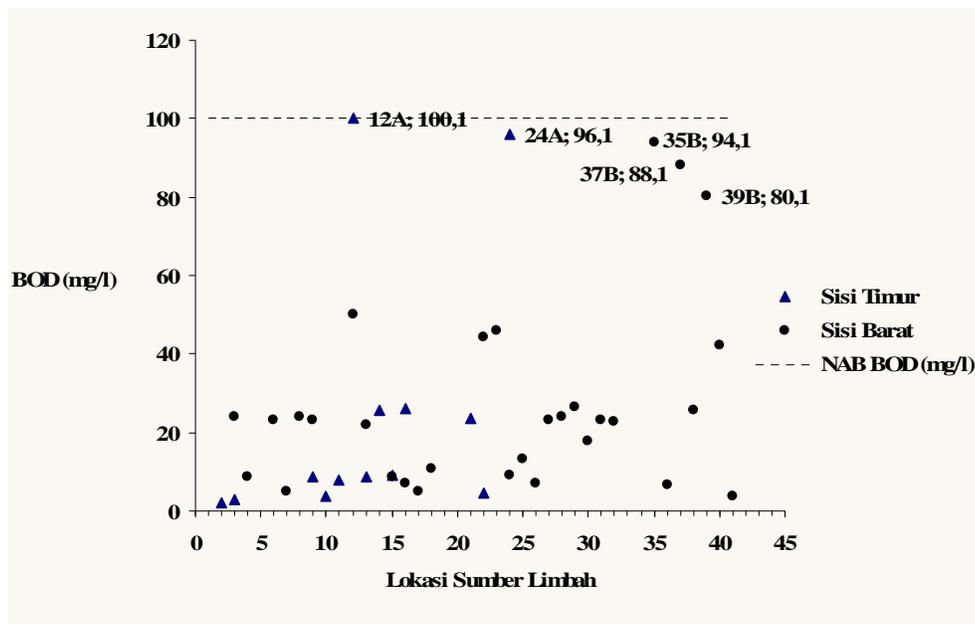
Aktifitas pembuangan limbah tidak serempak. Jadi tidak semua saluran limbah yang ada di lokasi penelitian melakukan aktifitas pembuangan. Sumber limbah berasal dari rumah yang berada di tepi sungai, dari kamar mandi umum yang dibangun di tepi sungai, dari saluran limbah komunal dari rumah-rumah di bantaran sungai dan dari saluran *riool* kota. Saluran limbah dari rumah penduduk dan kamar mandi umum untuk aktifitas pembuangan tidak kontinu tergantung kegiatan penduduk. Saluran komunal dan saluran *riool* kota untuk aktifitas pembuangan kontinu atau terus menerus. Dari kondisi tersebut maka pembebanan sumber limbah ke sungai Code relatif tidak tetap. Hal tersebut disebabkan oleh pembuangan

limbah domestik didasarkan pada kegiatan atau aktifitas penduduk/manusia baik mandi, cuci dan kakus (MCK).

5.3 Analisis Kadar BOD

Pemeriksaan sampel air limbah di Laboratorium Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pemberantasan Penyakit Menular (BBTKLPPM) Yogyakarta, Departemen Kesehatan Republik Indonesia, Direktorat Jenderal Pengendalian Penyakit dan Penyehatan Lingkungan. Metode pemeriksaan yang dilakukan menggunakan metode uji APHA 2005 *Section 5210 B, Section 4500-OG*. NAB atau kadar maksimum BOD untuk baku mutu limbah domestik pada Tabel 1 sebesar 100 mg/l [Anonim, 2003]. Gambar 2 terlihat bahwa dari 66 lokasi sumber limbah kadar BOD berada di bawah atau lebih kecil dari NAB BOD. Sebagian besar atau sebesar 92 % kualitas limbah yang dibuang ke sungai Code pada lokasi penelitian ini masih memenuhi baku mutu limbah domestik, hanya sekitar 8 % mendekati NAB BOD yaitu titik 12A (100,1 mg/l), 24A (96,1 mg/l), 35B (94,1 mg/l), 37B (88,1 mg/l) dan 39B (80,1 mg/l).

Sumber limbah di titik 12A perlu diperhatikan, karena kadar BOD yang paling besar, debit yang paling besar dan kondisi aliran yang terus menerus mengalir. Titik 12 A merupakan sumber limbah dari saluran komunal yang berasal dari rumah-rumah di kawasan Kota Baru yang cukup padat dan saluran tersebut berfungsi juga sebagai riool kota.



Gambar 2. Kadar BOD (mg/l) di sisi timur dan sisi barat.

5.4 Analisis Beban Pencemaran

Hasil penelitian menunjukkan bahwakadar BOD maksimum aktual $(CA)_{BOD}$ sebesar 100,1 mg/L dengan total debit aliran (DA) sebesar 5,44 L/detik. Berdasarkan Persamaan 2 dapat diketahui beban pencemar aktual (BPA) sebesar 46,83 kg/hari.

Beban pencemaran maksimum yang diizinkan (BPM) dihitung dengan menggunakan Persamaan 1, dimana kadar BOD maksimum $(Cm)_{BOD}$ sesuai Tabel 2 untuk kawasan Hotel (dengan asumsi kondisi lokasi penelitian terdapat banyak kegiatan perhotelan dan pemukiman) sebesar 30 mg/L dan debit limbah cair maksimum (Dm) sebesar 1 L/detik/ha lahan kawasan terpakai. Luasan lahan kawasan yang terpakai untuk penelitian ini diperkirakan sebesar 10 ha. Besar BPM adalah 25,80 kg/hari

BPA sebesar 46,83 kg/hari lebih besar dibandingkan dengan BPM sebesar 25,80 kg/hari dapat disimpulkan bahwa beban pencemaran pada lokasi penelitian yaitu sumber limbah di sungai Code dari jembatan Sudirman sampai dengan jembatan Mas Suharto untuk kadar BOD mencemari sungai Code.

Dilihat dari baku mutu limbah domestik (Anonim, 2003) menunjukkan kualitas limbah dari sumber limbah yang diamati pada penelitian ini tidak melebihi NAB, yang berarti secara kualitas limbah tidak mencemari. Bila dilihat dari mutu limbah cair merujuk pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No: 03/MENLH/1998 [Anonim, 1998] tentang penetapan beban pencemaran diperoleh hasil beban limbah dari sumber limbah pada lokasi penelitian mencemari sungai Code. Hal tersebut menunjukkan bahwa kualitas limbah yang dibuang ke sungai Code relatif kecil, namun kuantitas (jumlah) limbah yang dibuang akan membebani sungai sebagai media pembuangan. Upaya pemantauan sumber limbah yang diperlukan adalah pemantauan kualitas, kuantitas dan intensitas, sehingga sumber limbah dikatakan mencemari bila melebihi dari sisi kualitas, kuantitas dan intensitas.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pemantauan dalam penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Identifikasi sumber limbah yang membuang ke sungai Code sepanjang lokasi penelitian dari jembatan Sudirman sampai jembatan Mas Suharto sebanyak 25 lokasi di sisi timur dengan kondisi mengalir sebesar 12 saluran atau 48% dan 41 lokasi di sisi barat dengan kondisi mengalir sebesar 28 saluran atau 68%.
2. Titik 12A merupakan sumber limbah dengan debit dan kadar BOD terbesar serta saluran yang terus menerus mengalir. Hal tersebut disebabkan oleh titik 12A merupakan saluran

komunal yang berasal dari rumah-rumah di kawasan Kota Baru yang cukup padat dan saluran tersebut berfungsi juga sebagai riool kota.

3. Kadar BOD di 66 lokasi sumber limbah berada di bawah atau lebih kecil dari NAB BOD yaitu 100 mg/L [Anonim, 2003], sehingga masih memenuhi baku mutu limbah domestik.
4. BPA sebesar 46,83 kg/hari lebih besar dibandingkan dengan BPM sebesar 25,80 kg/hari dapat disimpulkan bahwa beban pencemaran pada lokasi penelitian yaitu sumber limbah di sungai Code dari jembatan Sudirman sampai dengan jembatan Mas Suharto untuk kadar BOD mencemari sungai Code.
5. Kualitas limbah yang dibuang ke sungai Code relatif kecil, namun kuantitas (jumlah) limbah yang dibuang akan membebani sungai sebagai media pembuangan.

Upaya pengendalian pencemaran khususnya sungai Code adalah perlu pemantauan kualitas sumber limbah secara periodik dan berkelanjutan, yang mengikutsertakan masyarakat, swasta, industri dan pemerintah untuk terlibat aktif di dalam pemantauan sumber limbah dan pengelolaan kualitas sungai sebagai sumber daya air. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan meneliti sumber limbah sungai Code di wilayah perkotaan yang mencakup sungai Code dari *Ring Road* Utara sampai dengan *Ring Road* Selatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional dalam Hibah Penelitian Dosen Tahun 2008, dan telah diseminarkan pada Desiminasi Penelitian Dosen Muda Tahun 2008 oleh Lembaga Penelitian, Penjaminan Mutu dan Pengabdian kepada Masyarakat (LP3M) Universitas Janabadra Yogyakarta tanggal 16 April 2009.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim. (1995). *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 52 Tahun 1995 Tentang : Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Hotel*, Republik Indonesia, Lampiran B.
2. Anonim. (1998a). *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 3 Tahun 1998 Tentang : Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kawasan Industri*, Republik Indonesia, Lampiran I.
3. Anonim. (1998b). *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 3 Tahun 1998 Tentang : Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kawasan Industri*, Republik Indonesia, Lampiran II.

4. Anonim. (2001). *Peraturan Pemerintah No. 82 Tanggal 14 Desember 2001 Tentang : Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas*, Republik Indonesia, Lampiran.
5. Anonim. (2003). *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 112 Tanggal 10 Juli 2003 Tentang : Baku Mutu Limbah Domestik*, Republik Indonesia, Lampiran.
6. Anonim. (2005). *Laporan Pemantauan Kualitas Air Sungai Sasaran Prokasih 2005*, Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Daerah (BAPEDALDA), Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
7. Anonim. (2006). *Laporan Pemantauan Kualitas Air Sungai Prokasih Tahun 2006*, Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Daerah (BAPEDALDA), Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
8. Anonim. (2007). *Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta No. 21 Tahun 2007 Tentang : Penetapan Kelas Air Sungai di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta*, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
9. Feybe, E.N.L. (2006). *Hak Atas Akses Sumber Daya Air Bagi Masyarakat di Jogjakarta*, Sekretariat Kelompok Kerja (POKJA) Air Minum dan Penyehatan Lingkungan (AMPL), Jakarta.
10. Fiona, R. (2006). *Limbah Domestik, Pencemaran Air & Eksploitasi Air Tanah, Tekno Limbah Majalah Pusat Teknologi Limbah Cair*, vol. 1, hal. 12 – 15. <http://www.ampl.or.id/detail/detail01.php?row=1&tp=artikel&ktg=airmi>. Akses 21 Februari 2007.
11. Pieter, L. (2007). *Yogyakarta, Kota Berhati Nyaman, Tekno Limbah Majalah Pusat Teknologi Limbah Cair*, vol. 2, hal. 4 – 11.

PERENCANAAN STRUKTUR RANGKA BAJA BERATURAN TAHAN GEMPA BERDASARKAN SNI 02-1726-2002 DAN FEMA 450

Yosafat Aji Pranata¹, Calvein Haryanto²

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

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

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

E-mail : yosafat.ap@eng.maranatha.edu

ABSTRACT

Indonesia territory located in high risk seismic zone. Every years there are damaged buildings, died people, and other infrastructures due to earthquake occurrence. The aim of this research are analysis and design of seismic resistant building of steel frame in accordance with SNI 02-1726-2002 and FEMA 450, the objectives are dimension of IWF profile for beam and column elements, base shear, displacement, connections, and foundation design. Results of this study for beam and column give same results for P/M ratios. Relative difference between base shear x-direction for both codes are 0.08%, relative difference between base shear y-direction for both codes are 0.16%. This difference may occurs from F_{xi} and F_{yi} results. Relative difference for V_u are 0.09%, and M_u are 0.00%, and N_u for both codes are 0,18%. Results of joint reactions for both codes are approximately same. Generally, SNI 03-1726-2002 and FEMA 450 give relative difference that are not significant.

Keywords: SNI 02-1726-2002, FEMA 450, Building, Steel.

ABSTRAK

Wilayah Indonesia mencakup daerah-daerah yang mempunyai tingkat resiko gempa yang tinggi diantara beberapa daerah gempa diseluruh dunia. Hampir setiap tahun terjadi bencana akibat gempa bumi di berbagai tempat di Indonesia. Gempa yang terjadi dapat mengakibatkan kerusakan yang menimbulkan korban jiwa serta dampaknya besar terhadap ekonomi dan pembangunan daerah di wilayah tersebut. Tujuan penelitian ini adalah melakukan perencanaan struktur gedung baja tahan gempa berdasarkan peraturan SNI 02-1726-2002 dan FEMA 450, dan pembahasan meliputi penentuan ukuran profil baja yang digunakan sebagai elemen struktur balok dan kolom, gaya geser dasar, peralihan, desain sambungan, dan perhitungan pondasi. Hasil desain balok dan kolom dengan menggunakan beban gempa berdasarkan SNI 02-1726-2002 dan FEMA 450 memberikan hasil yang sama untuk nilai rasio P/M. Nilai gaya geser nominal arah-x (V_x) mempunyai perbedaan sebesar 0,08%, sedangkan nilai gaya geser nominal arah-y (V_y) mempunyai perbedaan sebesar 0,16%. Hal ini terjadi karena hasil perhitungan nilai F_{xi} dan F_{yi} dengan kedua metode tersebut memberikan hasil yang hampir sama. Perbedaan nilai V_u pada balok sebesar 0,09%, dan M_u mempunyai selisih sebesar 0,00%. Nilai V_u dan M_u pada kolom mempunyai hasil yang sama, perbedaan nilai N_u sebesar 0,18%. Pada reaksi tumpuan, memberikan hasil yang hampir sama, sehingga menghasilkan pondasi dan pilecap yang sama. Pada desain sambungan, baut dan pelat mempunyai hasil yang sama, hal ini dikarenakan perbedaan nilai N_u , V_u , dan M_u berdasarkan SNI 02-1726-2002 dan FEMA 450 sangat kecil. Secara umum, metode SNI 02-1726-2002 dan FEMA 450 memberikan perbedaan hasil perhitungan yang tidak signifikan.

Kata Kunci: SNI 02-1726-2002, FEMA 450, Struktur Gedung, Baja.

1. PENDAHULUAN

Tingginya kerusakan karena gempa merupakan hal yang perlu ditinjau sehingga diperlukan peraturan bangunan tahan gempa. Dengan itu, kerusakan akibat gempa dapat

diminimalkan. Peraturan bangunan tahan gempa yang berlaku saat ini yaitu Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur bangunan Gedung (SNI 02-1726 – 2002) dan FEMA 450.

SNI 02-1726–2002 diterbitkan April 2002 oleh Departemen Pekerjaan Umum, merupakan pengganti dari Standar Nasional Indonesia SNI 02-1726-1989. SNI 1726 – 2002 menjadi persyaratan minimum perencanaan ketahanan gempa untuk struktur gedung. Standar ini dimaksudkan sebagai pengganti Standar Nasional Indonesia SNI 02-1726-1989 dan untuk selanjutnya menjadi persyaratan minimum perencanaan ketahanan gempa untuk struktur gedung.

Standar ini bertujuan agar struktur gedung yang ketahanan gempanya direncanakan menurut standar ini dapat berfungsi menghindari terjadinya korban jiwa manusia oleh runtuhnya gedung akibat gempa yang kuat, membatasi kerusakan gedung akibat gempa ringan sampai sedang, sehingga masih dapat diperbaiki, membatasi ketidaknyamanan penghunian bagi penghuni gedung ketika terjadi gempa ringan sampai sedang serta mempertahankan setiap layanan vital dari fungsi gedung.

Selain tujuan fungsi diatas syarat SNI 02-1726-2002 tidak berlaku untuk bangunan seperti gedung dengan sistem struktur yang tidak umum atau yang masih memerlukan pembuktian tentang kelayakannya, gedung dengan sistem isolasi landasan (*base isolation*) untuk meredam pengaruh gempa terhadap struktur atas, serta rumah tinggal satu tingkat dan gedung-gedung non-teknis lainnya.

FEMA 450 diterbitkan pada tahun 2003 oleh *Building Seismic Safety Council* (BSSC). BSSC sendiri berdiri pada tahun 1979 dibawah bantuan *National Institute of Building Sciences*. FEMA 450 merupakan peraturan seismik untuk gedung baru dan struktur bangunan lain. Tujuan utama dari departemen keamanan *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) dan *National Earthquake Hazards Reduction Program* (NEHRP) adalah untuk menganjurkan mendesain dan merencanakan suatu bangunan terhadap bahaya gempa bumi dan memperkecil resiko kerusakan dan korban jiwa. FEMA merupakan standar utama BSSC dalam perencanaan ketahanan gempa untuk struktur gedung.

Dalam penelitian ini akan dibahas tentang perbandingan peraturan gempa berdasarkan SNI 02-1726-2002 dan FEMA 450 terhadap bangunan baja. Hal yang ditinjau berupa desain balok, desain kolom, desain sambungan, serta perencanaan pondasi.

2. TINJAUAN LITERATUR

2.1 Peraturan Gempa SNI 03–1726–2002

Struktur gedung beraturan dapat direncanakan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam arah masing-masing sumbu utama denah struktur tersebut, berupa beban gempa nominal statik ekuivalen.

Apabila kategori gedung memiliki faktor keutamaan I dan strukturnya untuk suatu arah sumbu utama denah struktur dan sekaligus arah pembebanan gempa rencana memiliki faktor reduksi gempa R dan waktu getar alami fundamental T_1 , maka beban geser dasar nominal statik ekuivalen V yang terjadi di tingkat dasar dapat dihitung menurut persamaan:

$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t \quad (2.1)$$

di mana C_1 adalah nilai faktor respons gempa yang didapat dari Spektrum Respons Gempa Rencana menurut Gambar 2.9 untuk waktu getar alami fundamental T_1 , sedangkan W_t adalah berat total gedung, termasuk beban hidup yang sesuai.

Beban geser dasar nominal V menurut Pasal 6.1.2 harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen F_i yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke-i menurut persamaan:

$$F_i = \frac{W_i z_i}{\sum_{i=1}^n W_i z_i} V \quad (2.2)$$

di mana W_i adalah berat lantai tingkat ke-i, termasuk beban hidup yang sesuai, z_i adalah ketinggian lantai tingkat ke-i diukur dari taraf penjepitan lateral menurut Pasal 5.1.2 dan Pasal 5.1.3 [SNI 2002], sedangkan n adalah nomor lantai tingkat paling atas.

Apabila rasio antara tinggi struktur gedung dan ukuran denahnya dalam arah pembebanan gempa sama dengan atau melebihi 3, maka 0,1 V harus dianggap sebagai beban horisontal terpusat yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat paling atas, sedangkan 0,9 V sisanya harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen menurut Pasal 6.1.3[SNI 2002].

2.2 Peraturan Gempa FEMA 450

Beban geser ditentukan dengan menggunakan analisis gaya lateral ekuivalen. Apabila kategori gedung memiliki Faktor Keutamaan I dan strukturnya untuk suatu arah sumbu utama denah struktur dan sekaligus arah pembebanan Gempa Rencana memiliki faktor

reduksi gempa R dan waktu getar alami fundamental T_1 , maka beban geser dasar nominal statik ekuivalen V yang terjadi di tingkat dasar dapat dihitung menurut persamaan:

$$V=C_s \cdot W_t \quad (2.3)$$

dimana W_t adalah berat total bangunan, termasuk beban hidup yang sesuai, sedangkan C_s adalah koefisien respons seismik yang didapat dari 3 persamaan yaitu:

$$a. C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (2.4)$$

$$b. C_s = \frac{S_{D1}}{T \cdot \left(\frac{R}{I}\right)} \quad (2.5)$$

$$c. C_s = 0,044 \cdot I \cdot S_{ds} \quad (2.6)$$

dimana S_{DS} adalah damping 5%, parameter akselerasi respons spektral pada jangka pendek, S_{D1} adalah damping 5%, parameter akselerasi respons spektral pada periode satu detik. Nilai C_s yang digunakan adalah nilai yang berada diantara nilai maksimum dan nilai minimum.

Beban gempa nominal statik ekuivalen di distribusikan dengan menggunakan persamaan:

$$F_i = C_v \cdot V \quad (2.7)$$

dimana C_v adalah faktor distribusi arah vertikal maupun arah horizontal. Adapun nilai C_v didapatkan dari persamaan:

$$C_v = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot h_i} \quad (2.8)$$

dimana W_i adalah berat lantai tingkat ke- i , termasuk beban hidup yang sesuai, h_i adalah ketinggian lantai tingkat ke- i diukur dari taraf penjepitan lateral.

2.3 Perencanaan Pondasi

Prosedur perencanaan pondasi tiang mengikuti cara yang umum, yaitu penentuan daya dukung ujung tiang, daya dukung gesekan selimut dan daya dukung lateral. Peralihan lateral pada berbagai kombinasi beban umumnya ditentukan untuk mengetahui kemampuan tiang untuk menahan beban lateral. Masalah yang sangat

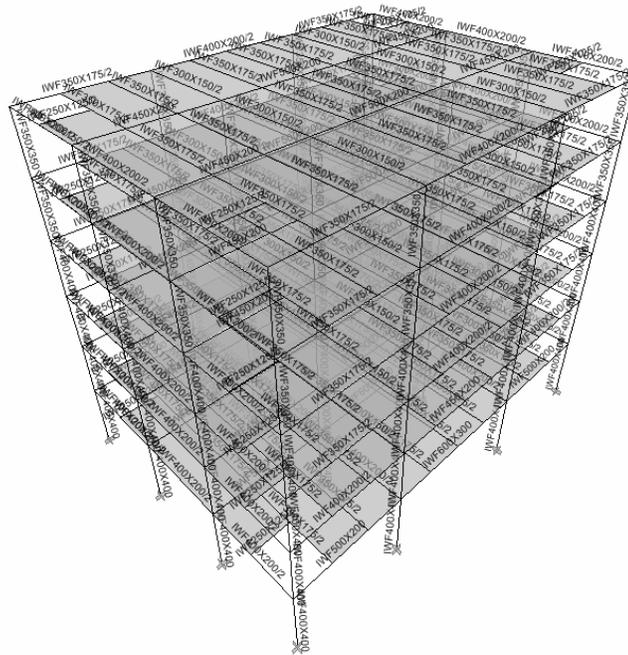
penting dalam perencanaan adalah menentukan parameter tanah yang tepat. Dalam banyak hal, meskipun metode analisis untuk daya dukung tiang cukup banyak dan dapat memberikan jawaban yang bervariasi, tetapi kesalahan yang terjadi akibat kekeliruan parameter tanah adalah lebih fatal.

3. STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Struktur dan Diagram Alir Studi

Data model yang digunakan adalah sebagai berikut:

Fungsi Bangunan	: Kantor
Jenis Struktur	: Baja
Jenis Bangunan	: Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
Jenis Pondasi	: Pondasi Tiang
Jumlah Lantai	: 6 lantai
Denah gedung	: (18 x 24) m ²
Tinggi Lantai	: Lantai Dasar = + 0,0 m
	Lantai 1 = + 4 m
	Lantai 2-6 = + 3,5 m



Gambar 1. Model 3D

3.1.1 Data Gedung

Data lokasi gedung yang digunakan adalah sebagai berikut: Lokasi Bandung, Kategori Gedung Beraturan, dan Wilayah Gempa 3 jenis tanah keras.

3.1.2 Data Material

Komponen dari struktur gedung terdiri dari balok, kolom yang secara keseluruhan bermaterial baja dan pelat menggunakan beton dengan tebal 120 mm. Semua komponen ini akan dimodelkan pada ETABS. Data material yang dimasukkan kedalam ETABS adalah sebagai berikut:

1. Baja

Mutu Baja : BJ – 37 ($f_u = 370$ MPa ; $f_y = 240$ MPa)

Modulus Elastisitas : 200000 MPa

Modulus Geser : 80000 MPa

2. Beton

Mutu Beton (f'_c) : 25 MPa

Mutu Baja Tulangan : $f_y = 400$ MPa ; $f_{ys} = 400$ MPa

Modulus Elastisitas Beton : $E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_c}$

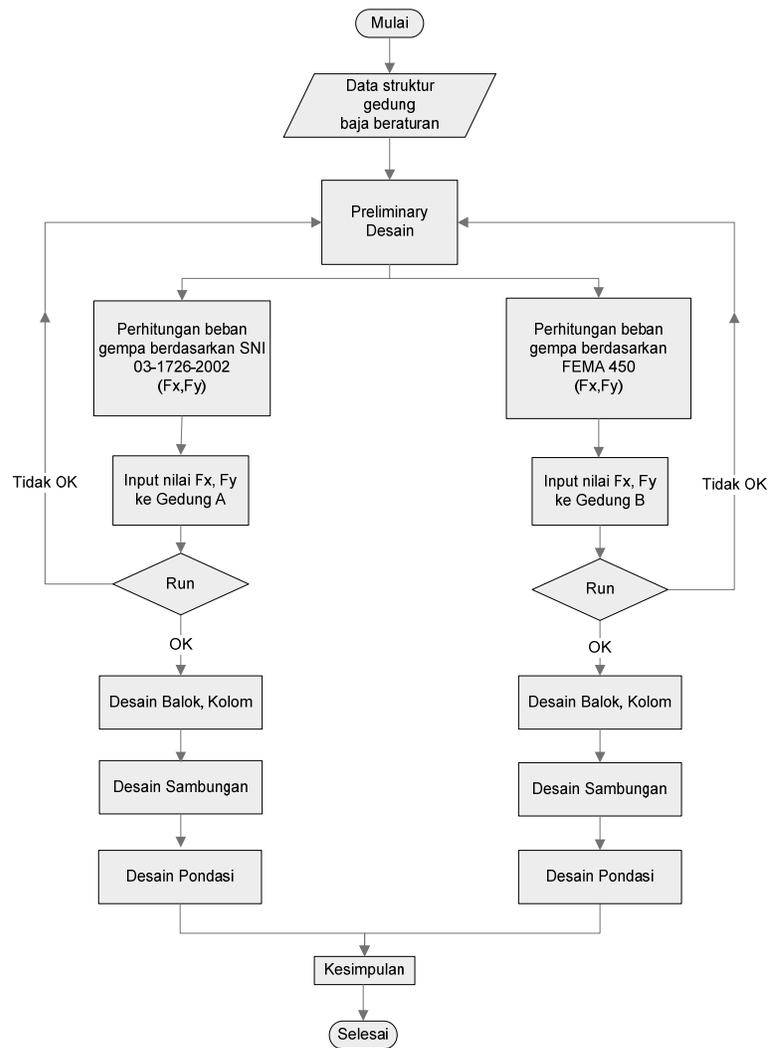
Berat Jenis Beton (γ_c) : 24 kN/m³

3.1.3 Data Tanah

Data tanah yang digunakan adalah data tanah dari pengujian sondir [Haryanto, 2009].

3.1.4 Diagram Bagan Alir studi

Dalam menyelesaikan permasalahan, digunakan diagram alir studi sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram Bagan Alir

3.2 Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa Berdasarkan SNI 02-1726-2002

Tabel 1. Nilai V_{by} Berdasarkan SNI 02-1726-2002, Mode 1; $T_y = 1,0711$ detik

Lantai	massa	g	W_y	C	I	R	V_{by}
6	13910.66	9.81	136463.53	0.2147	1	8.5	21498.28
5	14307.70		140358.50				
4	14392.04		141185.88				
3	14500.49		142249.85				
2	14556.31		142797.38				
1	15093.20		148064.28				

Tabel 2. Nilai V_{bx} Berdasarkan SNI 02-1726-2002, Mode 2; $T_x = 0,9813$ detik

Lantai	massa	g	W_x	C	I	R	V_{bx}
6	13910.66	9.81	136463.53	0.2344	1	8.5	23470.87
5	14307.70		140358.50				
4	14392.04		141185.88				
3	14500.49		142249.85				
2	14556.31		142797.38				
1	15093.20		148064.28				

Tabel 3. Nilai F_y Berdasarkan SNI 02-1726-2002, $T_y = 1,0711$ detik; $V_{by} = 21498,28$

Lantai	massa	g	W_y	h_y	$W_y.h_y$	F_y	V_y
6	13910.66	9.81	136463.53	21.50	2933965.93	5875.33	5875.33
5	14307.70		140358.50	18.00	2526453.07	5059.28	10934.61
4	14392.04		141185.88	14.50	2047195.26	4099.55	15034.17
3	14500.49		142249.85	11.00	1564748.36	3133.44	18167.61
2	14556.31		142797.38	7.50	1070980.33	2144.66	20312.27
1	15093.20		148064.28	4.00	592257.12	1186.01	21498.28

Tabel 4. Nilai F_x Berdasarkan SNI 02-1726-2002, $T_x = 0,9813$ detik; $V_{bx} = 23470,87$

Lantai	massa	g	W_x	h_x	$W_x.h_x$	F_x	V_x
6	13910.66	9.81	136463.53	21.50	2933965.93	6414.43	6414.43
5	14307.70		140358.50	18.00	2526453.07	5523.50	11937.92
4	14392.04		141185.88	14.50	2047195.26	4475.71	16413.64
3	14500.49		142249.85	11.00	1564748.36	3420.96	19834.59
2	14556.31		142797.38	7.50	1070980.33	2341.45	22176.04
1	15093.20		148064.28	4.00	592257.12	1294.83	23470.87

3.3 Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa Berdasarkan FEMA 450

Tabel 5. Nilai F_y Berdasarkan FEMA 450

Lantai	massa	g	W_i	h_i	$W_i.h_i$	C_{vy}	F_y	V_y
6	13910.66	9.81	136463.53	21.50	2933965.93	0.27	5884.91	5884.91
5	14307.70		140358.50	18.00	2526453.07	0.24	5067.53	10952.43
4	14392.04		141185.88	14.50	2047195.26	0.19	4106.24	15058.67
3	14500.49		142249.85	11.00	1564748.36	0.15	3138.55	18197.22
2	14556.31		142797.38	7.50	1070980.33	0.10	2148.16	20345.38
1	15093.20		148064.28	4.00	592257.12	0.06	1187.94	21533.32

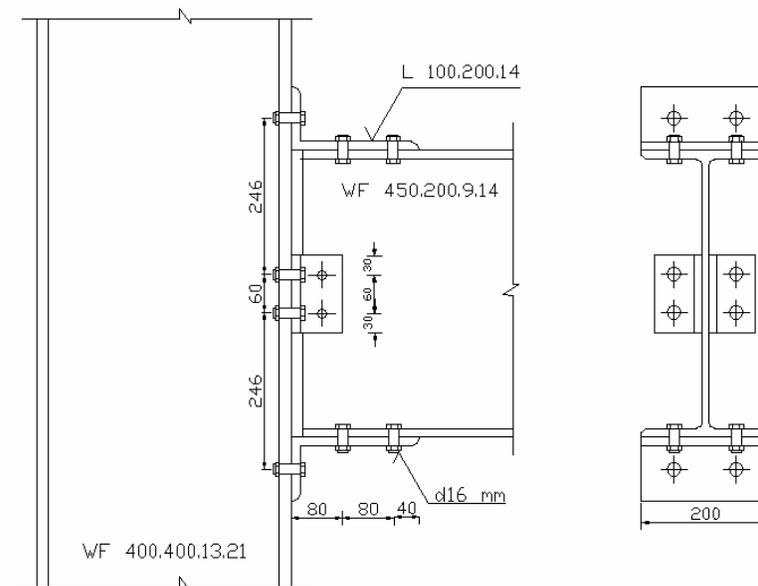
Tabel 6. Nilai F_x Berdasarkan FEMA 450

Lantai	massa	g	W_i	h_i	$W_i \cdot h_i$	C_{vx}	F_x	V_x
6	13910.66	9.81	136463.53	21.50	2933965.93	0.27	6419.90	6419.90
5	14307.70		140358.50	18.00	2526453.07	0.24	5528.21	11948.11
4	14392.04		141185.88	14.50	2047195.26	0.19	4479.53	16427.64
3	14500.49		142249.85	11.00	1564748.36	0.15	3423.87	19851.52
2	14556.31		142797.38	7.50	1070980.33	0.10	2343.44	22194.96
1	15093.20		148064.28	4.00	592257.12	0.06	1295.94	23490.90

3.4 Desain Sambungan

3.4.1 Sambungan Kolom dengan Balok

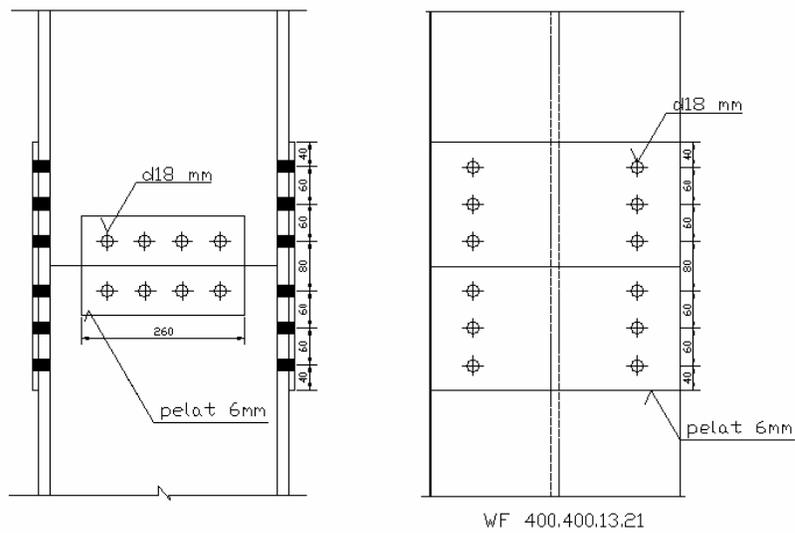
Hasil perencanaan sambungan kolom dengan balok ditampilkan pada Gambar 3. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada penelitian Haryanto [Haryanto, 2009].



Gambar 3. Detail Sambungan Balok-Kolom

3.4.2 Sambungan Kolom dengan Kolom

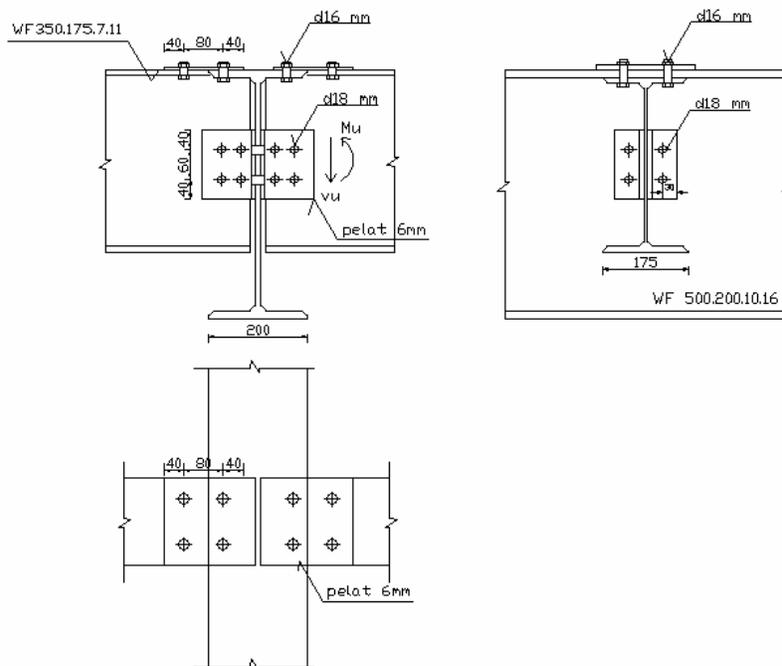
Hasil perencanaan sambungan kolom dengan kolom ditampilkan pada Gambar 4. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada penelitian Haryanto [Haryanto, 2009].



Gambar 4. Detail Sambungan Kolom-Kolom

3.4.3 Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak

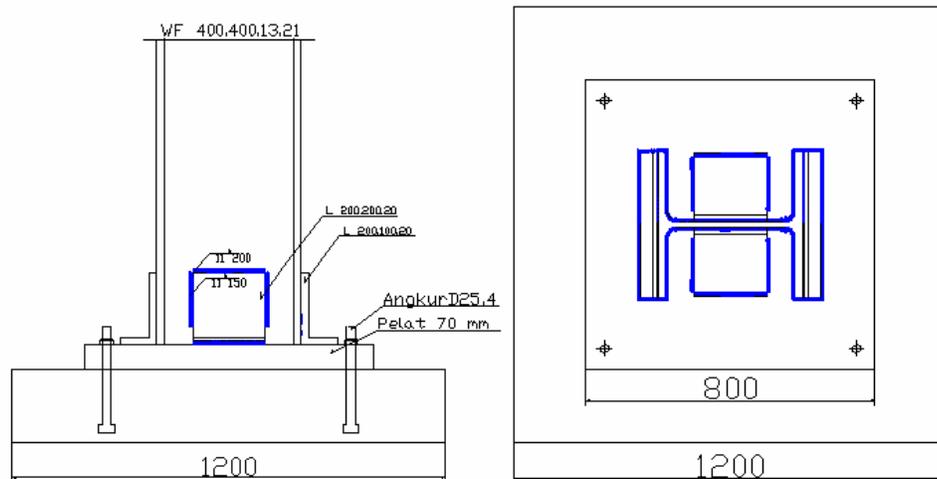
Hasil perencanaan sambungan balok induk dengan balok anak ditampilkan pada Gambar 3. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada penelitian Haryanto [Haryanto, 2009].



Gambar 5. Detail Sambungan Balok Induk-Balok Anak

3.4.4 Sambungan Kolom dengan Perletakan

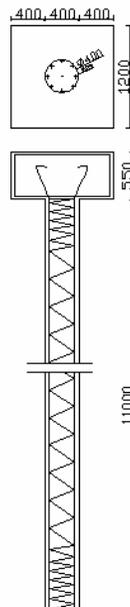
Hasil perencanaan sambungan kolom dengan perletakan ditampilkan pada Gambar 6. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada penelitian Haryanto [Haryanto, 2009].



Gambar 6. Detail Sambungan Kolom-Perletakan

3.5 Perencanaan Pondasi

Hasil perencanaan pondasi ditampilkan pada Gambar 7. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada penelitian Haryanto [Haryanto, 2009].



Gambar 7. Detail Pondasi yang Didesain Berdasarkan SNI 02-1726-2002

4. PEMBAHASAN

Pembahasan hasil penelitian selanjutnya ditampilkan pada Tabel 7 sampai dengan Tabel 16.

Tabel 7. Perbandingan Nilai F_x

F_x	SNI 02-1726-2002 (kg)	FEMA 450 (kg)	% beda
6	6414.43	6419.90	0,08 %
5	5523.50	5528.21	0,08 %
4	4475.71	4479.53	0,08%
3	3420.96	3423.87	0,08%
2	2341.45	2343.44	0,08 %
1	1294.83	1295.94	0,08 %
V_x	23470.87	23490.90	0,08 %

Tabel 8. Perbandingan Nilai F_y

F_y	SNI 02-1726-2002 (kg)	FEMA 450 (kg)	% beda
6	5875.33	5884.91	0,16 %
5	5059.28	5067.53	0,16 %
4	4099.55	4106.24	0,16 %
3	3133.44	3138.55	0,16 %
2	2144.66	2148.16	0,16 %
1	1186.01	1187.94	0,16 %
V_y	21498.28	21533.32	0,16 %

Tabel 9. Gaya-gaya Dalam dan Lentutan

	SNI 02-1726-2002 (N-mm)	FEMA 450 (N-mm)	% beda
N_u	0	0	0 %
V_u	3279,54	3282,73	0,09 %
M_u	7243461,697	7253024,32	0,13 %
Lentutan	0,738	0,738	0 %

Tabel 10. Gaya Dalam Pada Kolom

	SNI 02-1726-2002 (N-mm)	FEMA 450 (N-mm)	% beda
N_u	2441061,3	2445642,9	0,18 %
V_u	11020,21	11020,21	0 %
M_u	20154851,7	20154851,7	0 %

Tabel 11. Reaksi Tumpuan

	SNI 02-1726-2002 (kg-m)	FEMA 450 (kg-m)	% beda
N_u	154901,13	154902,78	0,001 %
V_u	2205,02	2206,85	0,08 %
M_u	5367,851	5372,41	0,08 %

Tabel 12. Perbedaan Desain Sambungan Balok-Kolom

	SNI 02-1726-2002	FEMA 450	% beda
Baut pada Badan	2	2	0 %
Baut pada sayap	4	4	0 %
Pelat pada badan	Siku 100.200.14	Siku 100.200.14	0 %
Pelat pada sayap	Siku 100.200.14	Siku 100.200.14	0 %

Tabel 13. Perbedaan Desain Sambungan Kolom-Kolom

	SNI 02-1726-2002	FEMA 450	% beda
Baut pada Badan	4	4	0 %
Baut pada sayap	6	6	0 %
Pelat pada badan	6 mm	6 mm	0 %
Pelat pada sayap	6 mm	6 mm	0 %

Tabel 14. Perbedaan Desain sambungan Balok Induk-Balok Anak

	SNI 02-1726-2002	FEMA 450	% beda
Baut pada Badan	4	4	0 %
Baut pada sayap	4	4	0 %
Pelat pada badan	6 mm	6 mm	0 %
Pelat pada sayap	6 mm	6 mm	0 %

Tabel 15. Perbedaan Desain sambungan Kolom-Perletakan

	SNI 02-1726-2002	FEMA 450	% beda
Base Plate	800.800	800.800	0 %
Pier	1200.1200	1200.1200	0 %
Tebal Base Plate	70 mm	70 mm	0 %
Panjang Angkur	300 mm	300 mm	0 %

Tabel 16. Pondasi dan Pilecap

	SNI 02-1726-2002	FEMA 450	% beda
N_u	154901,13 kg	154902,78 kg	0,001 %
Panjang Tiang (L)	1100 cm	1100 cm	0 %
Diameter Tiang (D)	40 cm	40 cm	0 %
Tebal Pilecap	55 cm	55 cm	0 %
Panjang Pilecap	120 cm	120 cm	0 %
<i>Deflection</i>	0,3 cm	0,3 cm	0%

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Hasil desain balok dan kolom dengan menggunakan beban gempa berdasarkan SNI 02-1726-2002 dan FEMA 450 memberikan hasil yang sama untuk nilai rasio P/M.
2. Nilai gaya geser nominal arah-x (V_x) berdasarkan SNI 02-1726-2002 dan FEMA 450 mempunyai perbedaan sebesar 0,08%, sedangkan nilai gaya geser nominal arah-y (V_y) berdasarkan SNI 02-1726-2002 dan FEMA 450 mempunyai perbedaan sebesar 0,16%. Hal ini terjadi karena hasil perhitungan nilai F_{xi} dan F_{yi} dengan kedua metode tersebut memberikan hasil yang hampir sama.
3. Pada balok yang ditinjau, perbedaan nilai V_u pada gedung yang didesain dengan SNI 02-1726-2002 dan FEMA 450 sebesar 0,09%, dan M_u mempunyai selisih sebesar 0,13%. Sedangkan lendutan pada balok perbedaan 0,00%.
4. Pada kolom yang ditinjau, nilai V_u dan M_u pada gedung yang didesain dengan SNI 02-1726-2002 dan FEMA 450 mempunyai hasil yang sama, perbedaan nilai N_u sebesar 0,18%.
5. Pada reaksi tumpuan, perbedaan nilai N_u adalah 0,001%, nilai V_u mempunyai perbedaan 0,08% sedangkan perbedaan pada M_u adalah 0,08%, sehingga menghasilkan pondasi

tiang dan ukuran pilecap yang sama pada gedung yang didesain dengan SNI 02-1726-2002 dengan gedung yang didesain dengan FEMA 450.

6. Pada desain sambungan, baut dan pelat mempunyai hasil yang sama, hal ini dikarenakan perbedaan nilai N_u , V_u , dan M_u berdasarkan gedung yang didesain dengan SNI 02-1726-2002 dan FEMA 450 sangat kecil.
7. Pada desain pondasi akibat beban lateral didapatkan nilai *displacement* sebesar 3 mm.
8. Secara umum, Metode SNI 02-1726-2002 dan metode FEMA 450 memberikan perbedaan hasil perhitungan yang tidak terlalu signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa dalam hal studi kasus ini, peraturan gempa Indonesia memberikan hasil rekomendasi yang tidak berbeda dengan peraturan gempa Amerika Serikat. Hal ini dapat terjadi dikarenakan nilai gaya geser dasar (V) dari hasil perhitungan tersebut hampir sama.

DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Standardisasi Nasional, 2002, *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 02-1726-2002)*.
2. Badan Standardisasi Nasional, 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002)*.
3. Badan Standardisasi Nasional, 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)*.
4. Bowles, J.E, 1993, *Analisis Dan Desain Pondasi Edisi Keempat*, Penerbit Erlangga.
5. Computer and Structures, Inc. 2007, “*ETABS version 9.5.0*”, Computer and Structures, Inc., Berkeley, C.A.
6. Engineering Service Center, 1999, *Daftar Produk Baja PT.Gunung Garuda*.
7. ENSOFT, Incorporated 2003, *LPILEPlus version 4.0*, produksi Ensoft Inc.
8. Haryanto, C. 2009. *Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha.
9. Madutujuh, N. 1999, *Concrete Pilecap Design*, Produksi PT. Anugrah Multi Cipta Karya.
10. Peraturan Gempa FEMA 450, 2004, *Recommended Provisions For Seismic Regulations For New Buildings And Other Structures (FEMA 450)*.
11. RISA Technologies 1999, *RISABase version 1.02*, produksi RISA Technologies.
12. Salmon, C.G & Johnson, J.E, 1990, *Struktur Baja 2*, Terjemahan Penerbit Gramedia.

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.