

ANALISIS *PUSHOVER PIER FLYOVER BRIDGE* DI JAKARTA JALUR TN.ABANG – KP. MELAYU

Yosafat Aji Pranata¹, Nathan Madutujuh²

¹Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha
Jalan Prof. drg. Suria Sumantri, MPH., No. 65, Bandung, 40164
E-mail: yosafat.ap@gmail.com

²Direktur PT. Anugrah Multi Cipta Karya, Bandung
E-mail: nathanmadutujuh@gmail.com

ABSTRAK

Struktur *flyover bridge* di Jakarta jalur Tanah Abang – Kampung Melayu menggunakan *pier* beton bertulang dengan material beton bertulang mutu K-500 dan baja mutu BJTD-40 (ulir), BJTD-24 (polos). Portal mempunyai variasi bentuk dan ketinggian yaitu *pier* dengan ketinggian bervariasi 6,5-12,5 meter, *pier* dengan bresing-X untuk ketinggian diatas 13,5 meter, *pier* tiang tunggal berbentuk Y dengan ketinggian 9,3 meter, dan portal besar bentang 24 meter dengan beton prategang. Tujuan penelitian ini adalah melakukan desain *review pier flyover bridge* dengan menggunakan perangkat lunak SANSPRO. Selanjutnya untuk mendapatkan nilai daktilitas aktual struktur *pier*, maka dilakukan analisis statik nonlinier (*pushover*) dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000. Struktur *pier* didesain dengan menggunakan tingkat daktilitas terbatas. Hasil analisis memperlihatkan bahwa peralihan struktur *pier* untuk model biasa dan bresing-X berkisar antara 6,53-40,21 mm dan *drift* berkisar antara 0,111%-0,192%, sedangkan untuk *pier* Y peralihan berkisar antara 3,2-3,6 mm dan *drift* berkisar antara 0,05%-0,12%. Hasil analisis *pushover* memperlihatkan bahwa daktilitas aktual struktur *pier* biasa dan bresing-X berkisar antara 1,39-6,67, sedangkan untuk *pier* Y berkisar antara 5,57-7,64.

Kata Kunci: desain *review*, *pier* beton bertulang, *flyover bridge*, *pushover*.

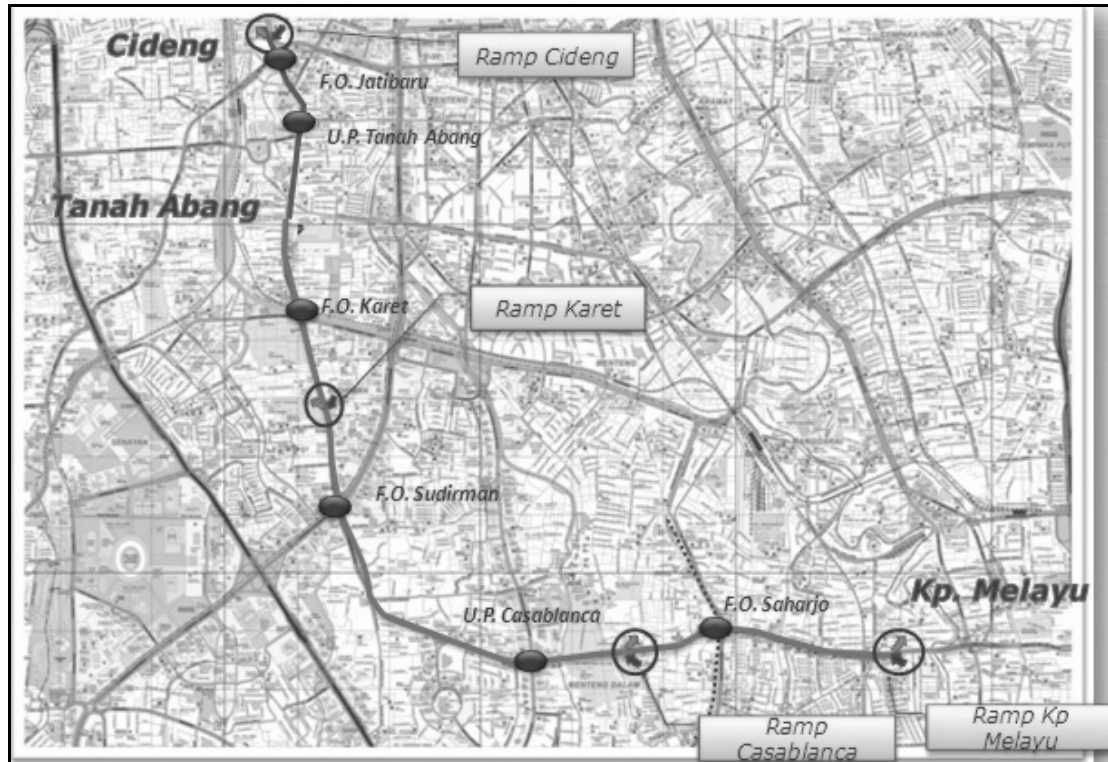
1. PENDAHULUAN

Desain *review pier flyover bridge* di Jakarta jalur Tanah Abang-Kampung Melayu meliputi rute (koridor tahap 1) jalan Mas Mansyur-Sudirman-Satrio-Rasuna Said-Casablanca. Kemudian apabila ditinjau pembagian zona tinjauan analisis pondasi berdasarkan karakteristik tanah, analisis dibagi menjadi 5 zona [PT. Pamintori Cipta, 2010]. Kriteria perencanaan struktur jalan layang berkaitan dengan hal-hal berikut, yaitu beban kendaraan dan muatannya yang melewati jalan layang tersebut, tipe jalan layang, bentang jalan layang, pondasi jalan layang, beban gravitasi (berat sendiri struktur), beban-beban mati tambahan lainnya, beban angin, dan beban gempa [Hoedajanto dan Madutujuh, 2010].

Struktur *flyover bridge* di Jakarta jalur Tanah Abang – Kampung Melayu menggunakan *pier* beton bertulang dengan material beton bertulang mutu K-500 dan baja mutu BJTD-40 (ulir), BJTD-24 (polos). Portal mempunyai variasi bentuk dan ketinggian yaitu sebagai berikut:

1. *Pier* dengan ketinggian bervariasi 6,5-12,5 meter (7 model).

2. *Pier* dengan bresing-X untuk ketinggian diatas 13,5 meter (10 model).
3. *Pier* tiang tunggal berbentuk Y dengan ketinggian 9,3 meter (tiga model).



Gambar 1. Koridor *flyover* non tol Tn.Abang-Kp. Melayu.

Tujuan penelitian ini adalah melakukan desain *review pier flyover bridge* dengan menggunakan perangkat lunak SANSIRO [Madutujuh, 2010]. Selanjutnya untuk mendapatkan nilai daktilitas aktual struktur *pier*, maka dilakukan analisis statik nonlinier (*pushover*) dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000 [CSI, 2009]. Secara umum struktur *pier* didesain dengan menggunakan tingkat daktilitas terbatas.

2. STUDI LITERATUR

2.1 Pembebanan

Beban yang diperhitungkan dalam desain adalah meliputi beban mati (berat sendiri struktur) atau SW, beban mati (berat *girder*) DL, beban hidup (kendaraan dan pejalan kaki) LL dan PLL, beban *crane* (pada saat proses pelaksanaan konstruksi) atau CR, dan beban gempa E. Berat sendiri struktur bervariasi, sesuai dengan ketinggian *pier*, beban mati yaitu berat girder 750 ton, beban hidup sebesar 324 ton, kemudian beban gempa diperhitungkan dengan menggunakan analisis statik.

Kombinasi beban menggunakan dasar sesuai AASHTO [AASHTO, 2002] yaitu sebagai berikut:

1. $1,25 SW + 1,25 DL + 1,25 CR$.
2. $1,25 SW + 1,25 DL + 1,75 \times 1,33 LL + 1,5 PLL$.
3. $1,25 SW + 1,25 DL + 0,5 LL + 0,5 PLL + E$
4. $DL + SW + CR$ (beban mati)
5. $LL + PLL$ (beban hidup)
6. $DL + SW + CR + LL + PLL$ (beban mati dan beban hidup)
7. E (gempa)

2.2 Beban Gempa

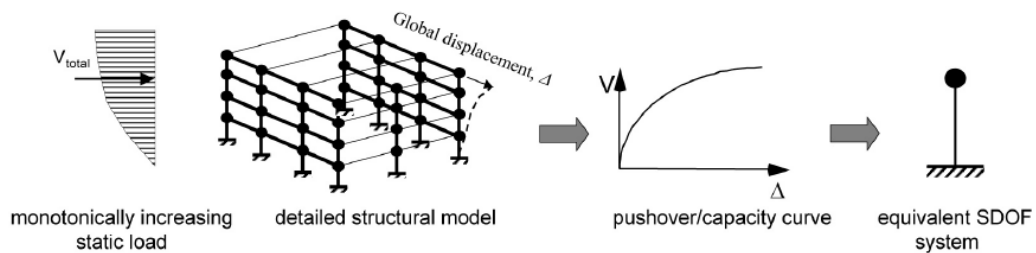
Struktur *pier* didesain tahan gempa, dengan pembebanan gempa untuk Jakarta diambil berdasarkan peta gempa Indonesia tahun 2010. Maka digunakan parameter sebagai berikut [Hoedajanto dan Madutujuh, 2010]:

$$\begin{aligned} S_s &= 0,65 & A_v &= 0,486g \\ S_I &= 0,275 & C_u &= 1,2 \\ F_a &= 1,4 & T_o &= 0,175 \text{ detik} \\ F_v &= 2,9 & T_s &= 0,876 \text{ detik} \\ S_{ms} &= 0,91g & R &= 3,0 \\ S_{ml} &= 0,798 & I &= 1,25 \\ S_{ds} &= 0,607g & C_d &= C.I / R = 0,243g \\ S_{dl} &= 0,532g \\ C &= 0,728 \end{aligned}$$

2.3 Analisis Beban Dorong

Analisis statik beban dorong atau analisis *pushover* adalah suatu analisis nonlinier statik dimana pengaruh Gempa Rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang besar sampai mencapai target peralihan yang diharapkan atau sampai mencapai kondisi plastik.

Metode analisis statik beban dorong merupakan metode dengan pendekatan nonlinier statik, dimana dapat digunakan pada struktur bangunan gedung beraturan, dengan karakteristik dinamik mode tinggi yang tidak dominan. Salah satu hasil analisis yang mempunyai manfaat penting yaitu kurva kapasitas. Kurva kapasitas hasil dari analisis statik beban dorong menunjukkan hubungan kurva beban lateral-peralihan oleh peningkatan beban statik sampai pada kondisi ultimit atau target peralihan yang diharapkan.



Gambar 2. Skematik Analisis Statik Beban Dorong [ATC, 2004].

Kurva kapasitas menunjukkan hubungan antara Gaya Geser Dasar (*base shear*) terhadap Peralihan Atap (*roof displacement*) seperti terlihat pada Gambar 2. Kurva berbentuk nonlinier, yang mana menunjukkan peningkatan beban pasca-elastik sampai dengan kondisi plastik. Analisis *pushover* relevan dilakukan pada model struktur dengan klasifikasi beraturan, karena beban statik diaplikasikan pada pusat massa tiap lantai.

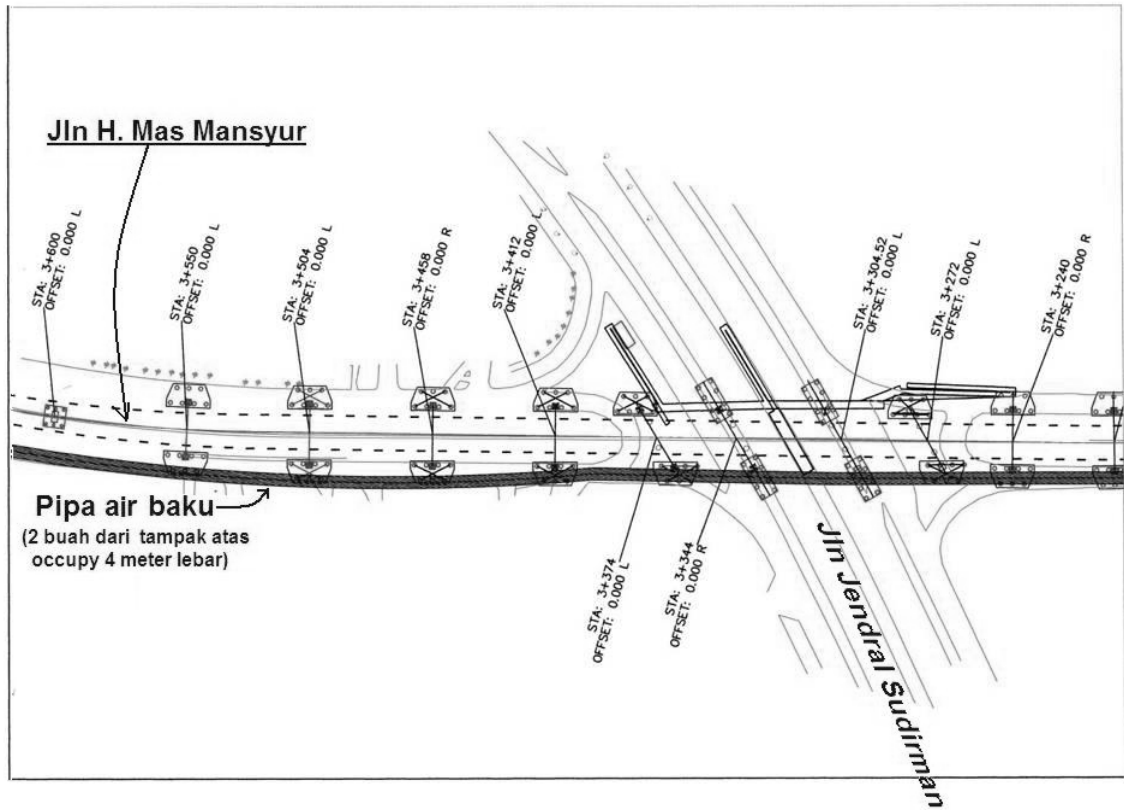
Beberapa manfaat dari analisis statik beban dorong yaitu antara lain:

1. Dapat digunakan untuk mengevaluasi karakteristik perilaku dan kinerja struktur.
2. Memungkinkan dilakukan investigasi skema kelelahan atau distribusi sendi plastis.
3. Pada saat kondisi struktur diperlukan suatu perkuatan maupun *retrofit*, dapat diketahui elemen-elemen struktur mana saja yang perlu diperkuat, sehingga hal ini berhubungan efisiensi biaya.

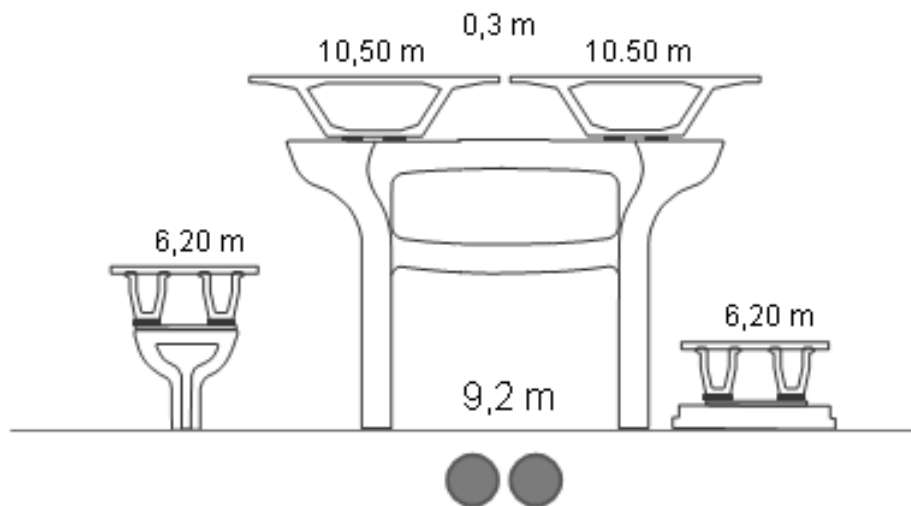
3. HAMBATAN DALAM DESAIN

Struktur *pier* direncanakan berdiri diatas daerah sepanjang jalan, dimana terdapat konstruksi pipa didalam tanah eksisting, sehingga berdampak pada perencanaan *pilecap*.

Dalam studi kasus ini, perencanaan dimensi dan tebal *pilecap* menyesuaikan ruang yang tersedia akibat adanya jaringan pipa eksisting (Gambar 3 dan Gambar 4 tanpa skala).



Gambar 3. Denah lokasi pipa air baku jalan Mas Mansyur.

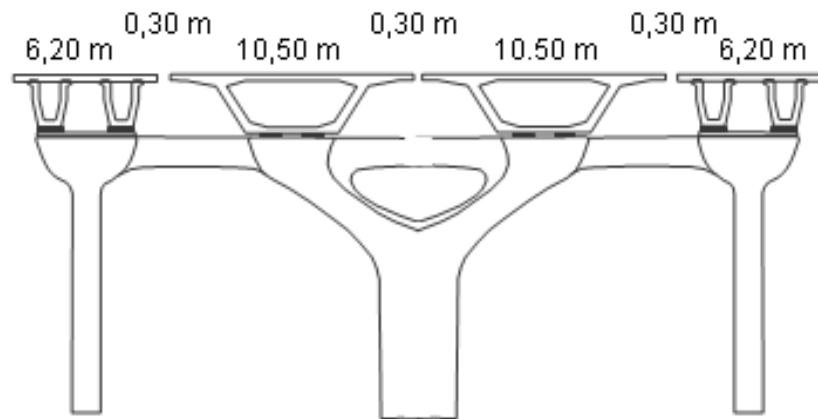


Gambar 4. Skematik salah satu lokasi jaringan pipa tepat dibawah pier.

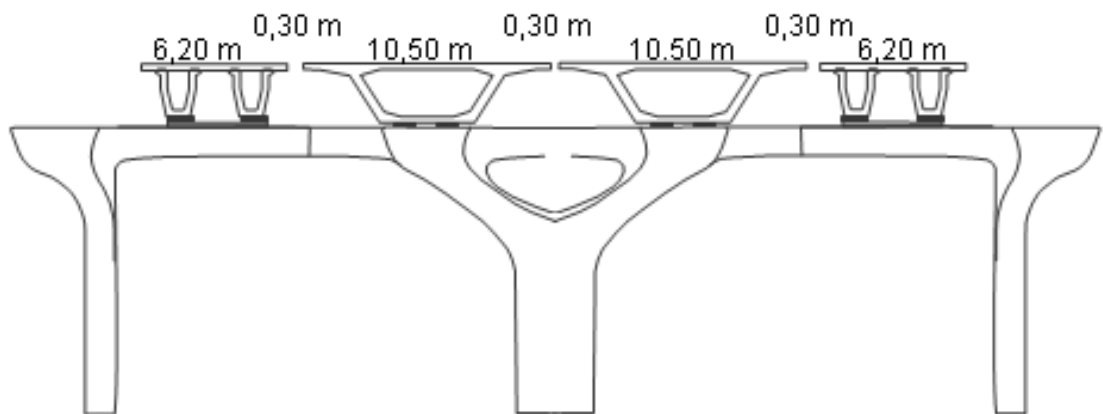
4. PEMILIHAN MODEL PORTAL

Pier tanpa bresing digunakan untuk model portal dengan tinggi total 6,5 meter (H+0) sampai dengan 12,5 meter (H+6). Sedangkan *Pier* dengan bresing X digunakan untuk model portal dengan tinggi total 13,5 meter (H+7) sampai dengan 22,5 meter (H+16). Model portal *pier* tanpa bresing dan bresing-X selengkapnya ditampilkan pada Tabel 2 dan Tabel 1, skematik gambar model *pier* tanpa bresing ditampilkan pada Gambar 7 dan *pier* bresing-X ditampilkan pada Gambar 6 (gambar tanpa skala).

Untuk lebih menyediakan ruang lalu lintas yang lebih lebar pada jalan bawah, maka terdapat *pier* tengah yang diubah bentuknya menjadi *pier* tunggal berbentuk Y. lebar kaki Y berkisar antara 3,5 meter sampai dengan 4 meter (Gambar 5, tanpa skala).



(a). Model pertama.



(b). Model kedua.

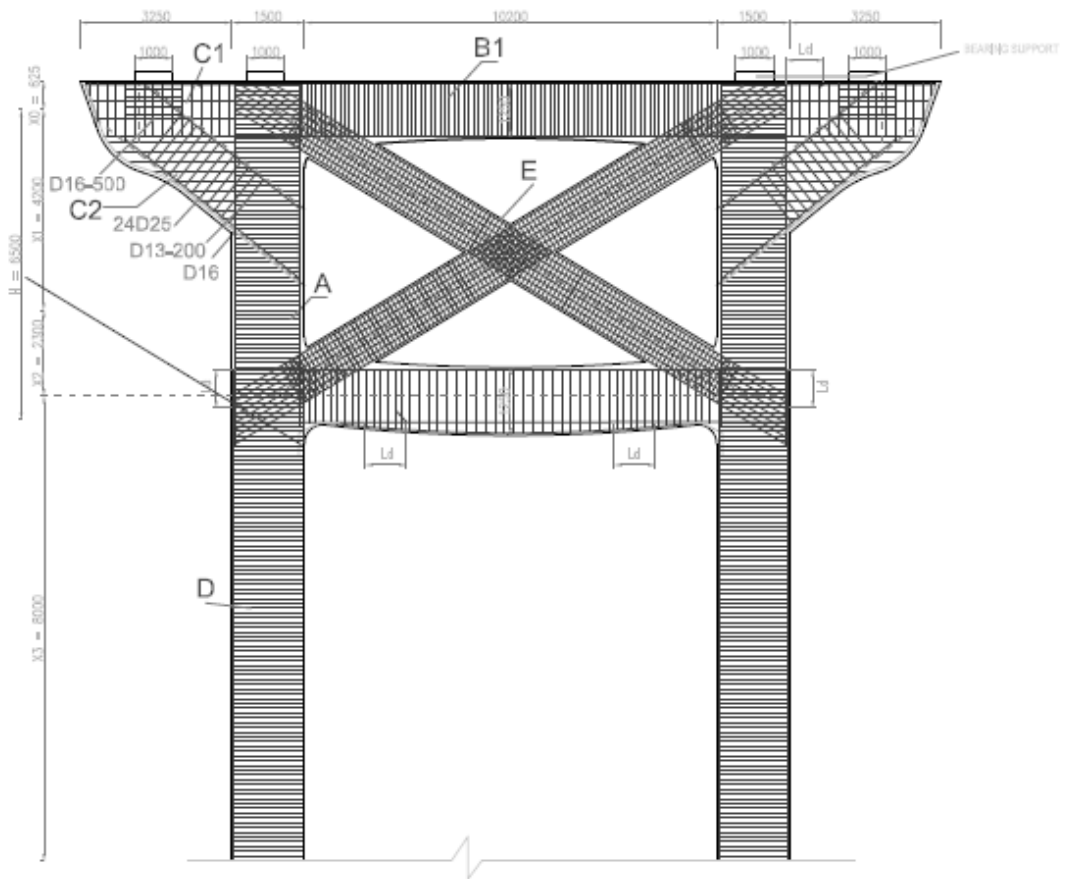
Gambar 5. Skematik model *pier* tunggal berbentuk Y.

Tabel 1. Dimensi dan ukuran penampang *pier* bresing-X (satuan mm).

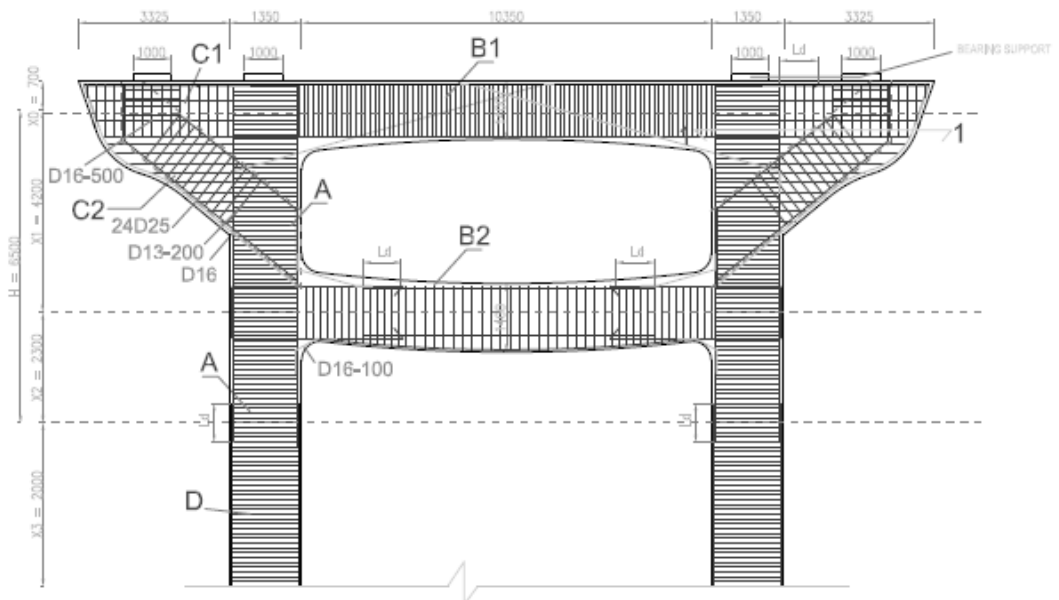
H+	A	B1	B2	C1	C2	D	E
7	1500 2300	1250 2100	1250 2100	1500 2300	1250 2300	1500 2300	1000 2300
8	1500 2300	1250 2100	1250 2100	1500 2300	1250 2300	1500 2300	1000 2300
9	1600 2300	1250 2100	1250 2100	1500 2300	1250 2300	1600 2300	1000 2300
10	1600 2300	1250 2100	1250 2100	1500 2300	1250 2300	1600 2300	1000 2300
11	1600 2300	1250 2100	1250 2100	1500 2300	1250 2300	1600 2300	1000 2300
12	1700 2300	1250 2100	1250 2100	1500 2300	1250 2300	1700 2300	1000 2300
13	1700 2300	1250 2100	1250 2100	1500 2300	1250 2300	1700 2300	1000 2300
14	1800 2300	1250 2100	1250 2100	1500 2300	1250 2300	1800 2300	1000 2300
15	1900 2300	1250 2100	1250 2100	1500 2300	1250 2300	1900 2300	1000 2300
16	2000 2300	1250 2100	1250 2100	1500 2300	1250 2300	2000 2300	1000 2300

Tabel 2. Dimensi dan ukuran penampang *pier* tanpa bresing (satuan mm).

H+	A	B1	B2	C1	C2	D	E
0	1250 2300	1300 2100	1300 2100	1500 2300	1250 2300	- -	- -
1	1250 2300	1300 2100	1300 2100	1500 2300	1250 2300	1250 2300	- -
2	1350 2300	1400 2100	1400 2100	1500 2300	1250 2300	1350 2300	- -
3	1450 2300	1500 2100	1500 2100	1500 2300	1250 2300	1450 2300	- -
4	1450 2300	1600 2100	1600 2100	1500 2300	1250 2300	1450 2300	- -
5	1550 2300	1600 2100	1600 2100	1500 2300	1250 2300	1550 2300	- -
6	1650 2300	1700 2100	1700 2100	1500 2300	1250 2300	1650 2300	- -



Gambar 6. Skematik penulangan *pier bresing-X H+8* (tinggi 14,5 meter).



Gambar 7. Skematik penulangan *pier tanpa bresing H+2* (tinggi 8,5 meter).

Pemodelan dan analisis dengan menggunakan perangkat lunak SANSIRO dilakukan dengan menggunakan model *single* kantilever.

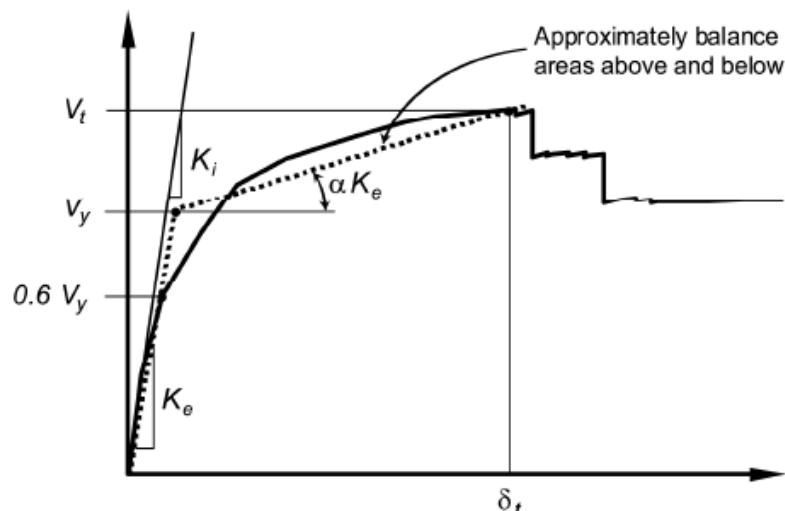
5. ANALISIS PUSHOVER

Analisis pushover digunakan untuk mendapatkan parameter daktilitas aktual dan faktor R aktual struktur. nilai daktilitas μ_{Δ} diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\mu_{\Delta} = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (1)$$

di mana μ_{Δ} adalah daktilitas struktur, δ_y adalah peralihan atap pada saat leleh pertama, dan δ_u adalah peralihan atap pada kondisi ultimit. Model kurva hubungan tegangan-regangan yang digunakan adalah model Mander (untuk material beton) dan model bilinear dengan *strain hardening* (untuk material baja) [CSI, 2009].

Tingkat kinerja struktur berhubungan dengan target peralihan yang diharapkan pada tahap pra-desain [ATC, 1996; 2000; 2004], sehingga dalam hal ini peralihan atap pada kondisi target peralihan (δ_t) diasumsikan sebagai peralihan ultimit (δ_u) dalam menentukan parameter daktilitas peralihan. Selanjutnya nilai peralihan atap saat leleh pertama (δ_y), *slope*/kemiringan K_e dan $\alpha.K_e$ ditentukan dengan cara *trial and error*, berdasarkan konsep luas area yang sama antara kurva bilinear dengan kurva kapasitas (Gambar 8).



Gambar 8. Idealisasi Kurva [ATC, 2004].

Pemodelan properti sendi-plastis disesuaikan dengan model kurva hubungan momen-kurvatur balok pada *pier* yang ditinjau. Pemodelan beban lateral untuk analisis *pushover* meliputi beban gravitasi (tipe *load control*) dan beban arah sumbu sejajar portal dan arah tegaklurus portal, dengan tipe beban *displacement control*, digunakan asumsi target peralihan sebesar 1 meter.

Hasil analisis *pushover* selengkapnya ditampilkan pada Tabel 3 dan Tabel 4. Contoh kurva hubungan beban-lendutan ditampilkan pada Gambar 7 dan Gambar 8. Konsep perhitungan daktilitas aktual struktur adalah idealisasi kurva kapasitas menjadi kurva bilinear, dengan asumsi bahwa titik pertama leleh ditentukan berdasarkan batas proporsional. Luasan kurva bilinear (idealisasi) harus sama dengan luasan kurva kapasitas yang sebenarnya.

Tabel 3. Base-Shear Pertama Leleh dan Ultimit.

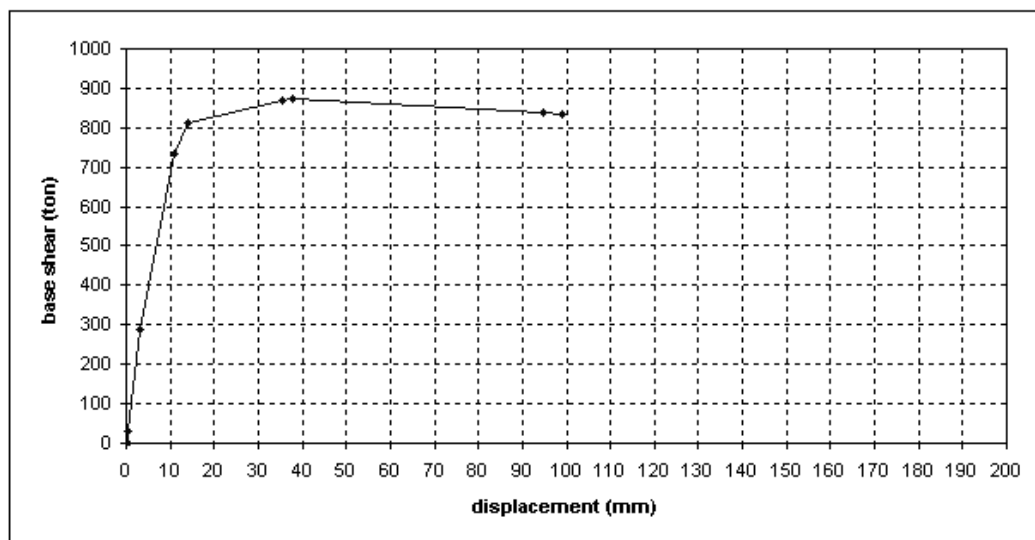
Model Pier	Base Shear (ton)	
	V-ult	V-yield
H+0	833,63	872,81
H+1	659,61	769,99
H+2	786,53	830,11
H+3	776,32	802,56
H+4	762,61	775,02
H+5	745,03	751,25
H+6	807,38	818,50
H+7	1012,66	999,75
H+8	717,89	989,39
H+9	754,85	1062,32
H+10	819,31	978,08
H+11	609,10	951,17
H+12	638,91	992,43
H+13	784,47	949,74
H+14	621,21	973,62
H+15	975,20	996,31
H+16	1066,88	1003,31
PierY-Model1	3362,83	2912,52
PierY-Model2	3653,37	3095,54
PierY-Model3	1857,48	1692,17

Tabel 4. Displacement Pertama Leleh dan Ultimit.

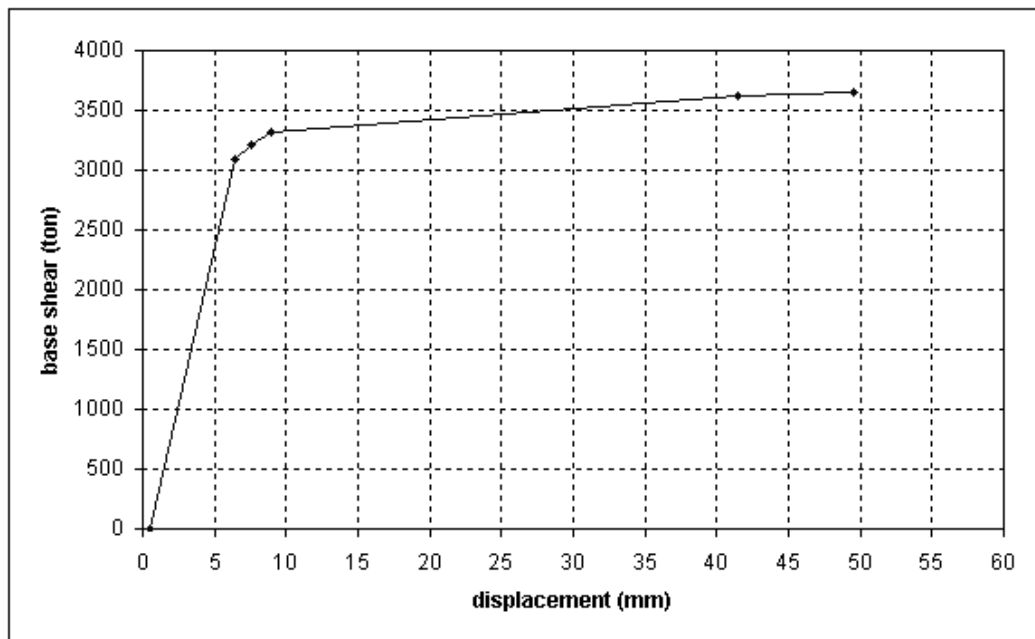
Model Pier	Displacement (mm)		Daktilitas Aktual
	Delta-u	Delta-y	
H+0	100,00	15,00	6,67
H+1	110,00	19,00	5,79
H+2	123,00	25,00	4,92
H+3	140,00	30,00	4,67
H+4	155,00	35,00	4,43
H+5	168,00	36,00	4,67

H+6	186,00	40,00	4,65
H+7	71,00	20,00	3,55
H+8	87,00	21,00	4,14
H+9	74,00	22,00	3,36
H+10	163,00	28,00	5,82
H+11	166,00	37,00	4,49
H+12	166,00	38,00	4,37
H+13	201,00	38,00	5,29
H+14	228,00	44,00	5,18
H+15	63,00	42,00	1,50
H+16	64,14	46,00	1,39
PierY-Model1	40,58	7,29	5,57
PierY-Model2	49,53	6,48	7,64
PierY-Model3	11,86	83,26	7,02

Keterangan: V-yield adalah *base-shear* pada saat leleh pertama kali, V-ult adalah *ase-shear* ultimit (saat beban runtuh), Delta-y adalah *displacement* pada saat leleh pertama kali, dan Delta-u adalah *displacement* ultimit (saat beban runtuh).



Gambar 7. Kurva beban-peralihan pier tanpa bresing tinggi 6,5 meter.



Gambar 8. Kurva beban-peralihan pier bentuk Y model kedua.

6. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil analisis *pushover* dengan perangkat lunak SAP2000 memperlihatkan bahwa peralihan struktur *pier* untuk model biasa dan bresing-X berkisar antara 6,53-40,21 mm dan *drift* berkisar antara 0,111%-0,192%, sedangkan untuk *pier* Y peralihan berkisar antara 3,2-3,6 mm dan *drift* berkisar antara 0,05%-0,12%.
2. Hasil analisis *pushover* memperlihatkan bahwa daktilitas aktual struktur *pier* biasa dan bresing-X berkisar antara 1,39-6,67, sedangkan untuk *pier* Y berkisar antara 5,57-7,64.
3. Secara umum untuk *pier* biasa dan bresing-X memperlihatkan hasil struktur mempunyai tingkat daktilitas terbatas, sesuai prediksi sebelumnya, sedangkan untuk *pier* Y lebih daktil.

LAMPIRAN

Sebagian materi dari tulisan ilmiah ini telah dipresentasikan oleh penulis, sebagai pembicara tamu pada kegiatan pengabdian kepada masyarakat pada Seminar Nasional ERSC-ICAT 2011 “*Design for New Indonesian Earthquake Map*”, yang diselenggarakan atas kerjasama antara ERSC, ICAT, dan Universitas Nurtanio Bandung, pada tanggal 26 Februari 2011.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim. (1983). “Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Bangunan Gedung 1983”, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
2. AASHTO. (2002). “Standard Specification for Highway Bridge”.
3. Applied Technology Council. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, ATC-40, Volume 1, Report No. SSC 96-01, Applied Technology Council, California.
4. American Society of Civil Engineers. 2000. *FEMA 356 – Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.
5. Applied Technology Council. 2004. *FEMA 440 – Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedure*, Applied Technology Council, California.
6. Computer and Structures, Inc. (2009). “SAP2000 manual”, Computer and Structures, Inc.
7. Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, BMS 1992. (1992). ”Bridge Design Codes and Manuals”.
8. Hoedajanto, D., Madutujuh, M. (2010). “Laporan Perencanaan dan Analisis *Pushover* Struktur *Pier* Proyek Jalan *Flyover* Non Tol Kampung Melayu-Casablanca”.
9. Madutujuh, M. (2010). “SANSPRO *version 4.95 manual*”, Engineering Software Research Center.
10. PT. Pamintori Cipta. (2010). “DED Ruas Jalan Layang Kampung Melayu-Tanah Abang”,PT. Pamintori Cipta.
11. RSNI T-02-2005. (2005). “Pembebanan untuk Jembatan”, Badan Standardisasi Nasional.
12. Standar Nasional Indonesia (2003). “SNI 03-1726-2003”, Standar Nasional Indonesia.

13. Standar Nasional Indonesia. (2008). "Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan – STANDAR 03-2833-2008", Standar Nasional Indonesia.