

STUDI PERBANDINGAN NILAI DAKTILITAS HOLLOW PILE DENGAN DAN TANPA PENAMBAHAN MATERIAL PENGISI BETON COR SETEMPAT

Jaka Propika¹, Eka Susanti².

^{1,2} Jurusan Teknik Sipil – FTSP - ITATS,

email: jakapropika@gmail.com, ekasusanti2015@gmail.com

ABSTRACT

Precast hollow pile with diameter 600 mm is one of the pile types that is widely known in construction building which requires large axial capacity. Based on the provision SNI 03-1726-2012 section 7.14.2.2.5, pile as the part of substructure must behave ductile to dissipate the energy when is subjected during an earthquake. Furthermore, pile must also behave in ductile manner due to lateral load at the changes of soft soil and hard soil layers. According to the previous experimental investigation conducted by Budek et.al (1997), it concluded that precast hollow pile could not behave in ductile manner when receiving a given lateral load. It is shown from the results of displacement and curvature ductility tests that precast hollow pile did not meet the minimum limits specified in provision used in Indonesia. In this study, experimental result from Budek et.al (1997) was used as the validation for Model 1 using manual analysis and finite element modeling by applying ABAQUS 6.10 and XTRACT 3.6. By referring the similar method from Model 1, the study continued to Model 2, precast hollow pile with the addition of 67.8 Mpa cast concrete material into the hollow. The results from the analysis on Model 1 showed at similar results provided with the experimental result from Budek et.al (1997). It was proven that existing precast hollow pile could not behave in ductile manner according to the minimum requirement of ductility as specified in SNI and ACI regulations. Meanwhile, analysis of Model 2 showed the significant increment as the increase of displacement and curvature ductility values that generated. In addition, the Model 2 showed an increase in displacement ductility at 88.97% and 137.15% of curvature ductility. Based on the research results of displacement and curvature ductility in all two Models of precast hollow pile, it can be concluded that Model 2 can provide a better behavior on the increase in ductility.

Keywords: Piles, Pile Hollow ductility, curvature, Displacement.

ABSTRAK

Precast hollow pile diameter 600 mm, adalah jenis tiang pancang yang umum digunakan dikonstruksi Indonesia. Berdasarkan SNI 03-1726-2013 pasal 7.14.2.2.5, tiang pancang sebagai bagian dari struktur bawah diharuskan untuk bisa berperilaku daktil dalam mendisipasi energi akibat beban gempa dan akibat tahanan lateral pada peralihan lapisan tanah lunak dan tanah keras.

Penelitian eksperimental sebelumnya yang dilakukan oleh Budek et al (1997), menyimpulkan bahwa tiang pancang jenis *hollow pile* tidak dapat berperilaku daktil, hal ini ditunjukkan dari hasil uji daktilitas *displacement* dan kurvatur yang tidak memenuhi persyaratan minimum. Pada penelitian ini, hasil eksperimental digunakan sebagai validasi untuk benda uji model 1 yaitu analisa perhitungan manual dan *finite element* dengan program bantu Abaqus 6.10 dan Xtract 3.6 untuk tiang pancang eksisting tanpa pengisi, dan dengan mengacu kepada metode yang sama, penelitian dilakukan terhadap model 2 yaitu hollow pile dengan penambahan material beton cor 67.8 MPa. Hasil analisa penelitian pada model 1, menunjukkan bahwa *hollow pile eksisting* tidak dapat berperilaku daktil sesuai dengan persyaratan SNI maupun ACI. Sedangkan model 2 menunjukkan peningkatan yang signifikan terhadap nilai daktilitas yaitu sebesar 88.9 % untuk daktilitas *displacement* dan 137.15 % untuk daktilitas kurvatur. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa, penambahan material beton cor ke dalam rongga adalah salah satu cara efektif peningkatan nilai daktilitas tiang pancang jenis *hollow pile*.

Kata kunci: Tiang Pancang, Hollow Pile Daktilitas, Kurvatur, Displacement.

PENDAHULUAN

Dalam peraturan SNI 03-1726-2012, mengharuskan precast prestressed piles (PPP) untuk bangunan dengan katagori desain seismic (KDS) D sampai dengan F harus memiliki kemampuan

daktail oleh beban siklik gempa rencana selain di ujung atas precast prestressed pile (PPP) tetapi juga oleh perbedaan situasi tanah pada elevasi yang berbeda, ketentuan tersebut diperjelas didalam pasal 7.14.2.2.5 yang menjelaskan bahwa (PPP) dengan kedalaman tertentu harus didesain memiliki kekuatan daktail sepanjang tiang dengan penguatan tulangan pengekang yang ditentukan, tetapi ketentuan – ketentuan tersebut hanya untuk tiang pancang dengan penampang tiang terisi penuh dan bukan untuk tiang pancang berongga, padahal kenyataan dilapangan, jenis tiang pancang bulat berongga lebih banyak digunakan dalam konstruksi bangunan di Indonesia.

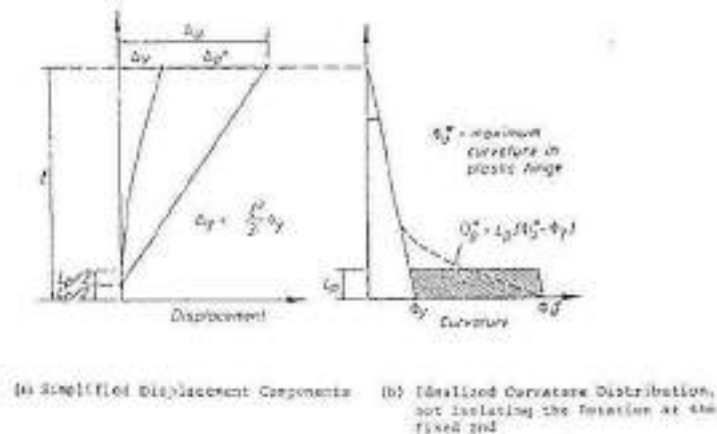
Penelitian sebelumnya tentang kemampuan daktilitas tiang pancang beton berongga (spun pile) dalam mengantisipasi pengaruh gaya lateral akibat beban gempa telah banyak dilakukan diluar negeri, diantaranya yang pernah dilakukan oleh Ikieda, Tsubaki, dan Yamaguci (1982), Benerjee, Santon, dan Hawkins (1987), Falconer dan Park (1982), dan Mugurama, Watanabe, dan Nishiyama (1987). Penelitian dilakukan terhadap beberapa jenis tiang pancang prestress beton berongga dengan dimensi 400 mm sampai dengan 600 mm, dari hasil penelitian yang dilakukan ternyata kemampuan daktilitas dari tiang pancang beton berongga tidak memenuhi batas persyaratan kuat daktilitas yaitu 4 untuk daktilitas defleksi dan 16 untuk daktilitas moment curvature.

Penelitian ini bertujuan mengetahui kemampuan tiang pancang hollow pile dari segi daktilitas defleksi dan kelengkungan, guna mendapatkan kondisi perkuatan pada tiang pancang beton berongga yang sesuai dengan peraturan SNI 03-1726-2012.

TINJAUAN PUSTAKA

Persyaratan Daktilitas Suatu Struktur

Hubungan antara curvature ductility $\phi u / \phi y$ dan displacement $\Delta u / \Delta y$ pada suatu struktur dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar.1 Hubungan *Displacement* dan *Curvature*

Pada gambar 1 (a) diperlihatkan *simplified displacement component* dan gambar 1 (b) diperlihatkan *idealized curvature distribution*, yang dibagi atas dua daerah yaitu daerah elastis dan daerah plastis. Besarnya lateral displacement di hitung dengan teory momen-area.

Berdasarkan SNI 2847-03-2002 perencanaan bangunan tahan gempa Indonesia untuk gedung , maka suatu struktur disyaratkan untuk paling sedikit mempunyai *factor displacement ductility* = 4 , hal ini sesuai dengan *the seismic loading in the New Zeland loading code for ductility frames* yang juga mensyaratkan sekitar 4, sedangkan *the tentative provisions of the ACT for ductility frames* mensyaratkan sekitar 7.

Besarnya *lateral displacement* dihitung dengan teory momen area, dimana *lateral displacement* pada saat leleh pertama :

$$\Delta y = \frac{\phi y \cdot L}{2} + \frac{2L}{3} = \frac{\phi y \cdot L^2}{3} \quad (1)$$

Lateral displacement pada saat ultimate :

$$\Delta u = \Delta y + \phi p \cdot \left(1 - \frac{l_p}{2}\right) \quad (2)$$

$$\Delta u = \frac{\phi_y \cdot L^2}{3} + (\phi_u - \phi_y) \cdot l_p \cdot \left(1 - \frac{l_p}{2}\right) \quad (3)$$

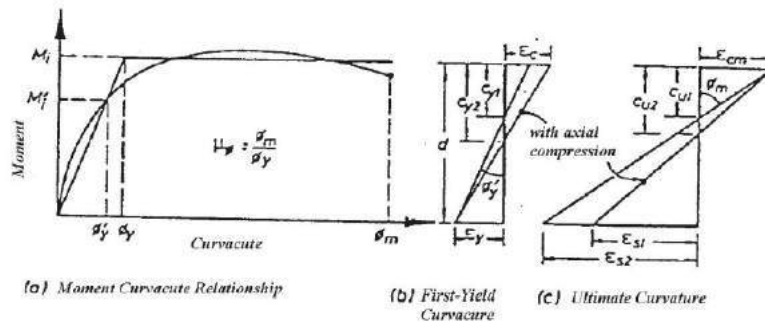
$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} = 1 + \left(\frac{\phi_u - \phi_y}{L^2(\mu - 1)^2}\right) \cdot \frac{l_p \cdot (1 - 0.5 \cdot l_p)}{L^2/3} \quad (4)$$

$$\frac{\phi_u}{\phi_y} = 1 + \frac{3l_p(L - 0.5l_p)}{L^2(\mu - 1)^2} \quad (5)$$

dengan L = Tinggi tiang pancang, μ = displacement ductility, l_p = panjang sendi plastis

Analisa Momen-Curvature

Analisa moment curvature didasarkan pada pendekatan *Strain Compability – Force Equilibrium*, dimana analisa ini menggunakan suatu teknik interaksi untuk mendapatkan besarnya nilai tinggi garis netral KD yang memenuhi *force equilibrium*. Dengan didapatkannya nilai KD , maka akan didapatkan pula nilai curvature (ϕ) dan nilai momen (M).



Gambar 2. Diagram Momen Kurvatur

Besarnya *Moment-curvature* ϕ dapat diperoleh dari :

Saat Crack:

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I}{y_{bottom}} \quad (6)$$

$$\phi_{cr} = \frac{f_r/E_c}{y_{bottom}} \quad (7)$$

Saat leleh pertama :

$$M_y = A_s \cdot f_y \cdot jd \quad (8)$$

$$\phi_y = \frac{\epsilon_y}{d(1 - k)} \quad (9)$$

Saat ultimate:

$$M_u = 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \left(d - \frac{a}{2}\right) + A'_s \cdot f_y \cdot (d - d') \quad (10)$$

$$\phi_u = \frac{\epsilon_{cc}}{kd} \quad (11)$$

Daktilitas Curvature:

$$\mu\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y} \quad (12)$$

dimana f_r = Modulus rupture, jd = jarak dari pusat gaya tekan tulangan dan beton ke pusat tarik, I = inersia penampang, ϵ_{cc} = regangan beton terkekang, kd = tinggi garis netral,

Besarnya moment dihitung dari penjumlahan momen momen akibat gaya-gaya yang ada pada penampang, yaitu :

a. Momen akibat baja pratekan

$$M_{sp} = A_{sp} \times f_{sp} \times di \quad (13)$$

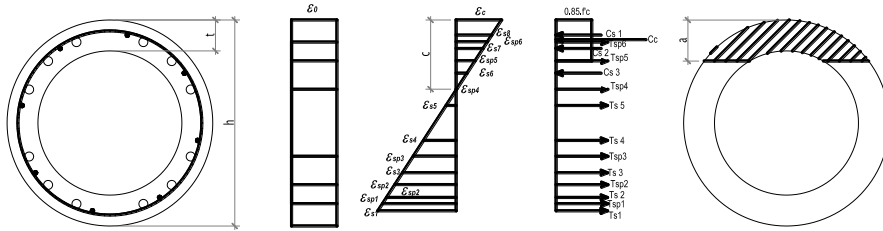
dengan A_{sp} = luas penampang baja pratekan, f_{sp} = adalah tegangan baja pratekan, dan di = jarak dari garis tengah penampang ke tendon pratekan.

b. Moment akibat baja lunak longitudinal

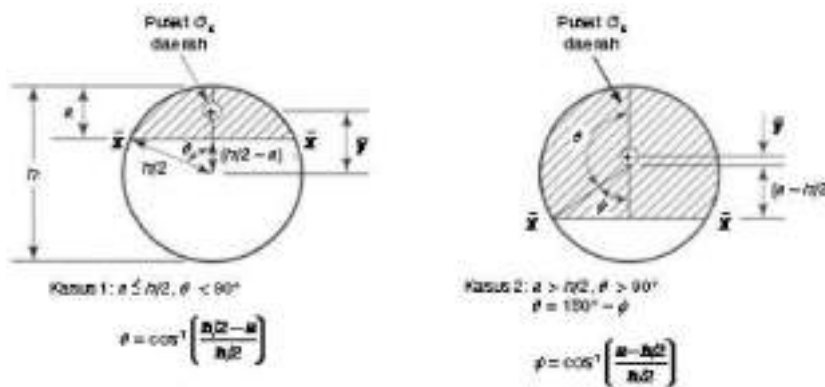
$$M_{sl} = A_{sl} x f_{sl} x di$$

dengan A_{sl} = luas penampang baja lunak longitudinal, f_{sp} = adalah tegar (14) 1 linak longitudinal, dan di = jarak dari garis tengah penampang ke tulangan lunak longitudinal.

c. Moment akibat gaya tekan beton



Gambar 3. Distribusi regangan dan Tegangan Penampang tiang prategang berongga



Gambar 4. Area Keruntuhan Beton Tiang Pancang

Sehingga, momen yang terjadi akibat beton dirumuskan sebagai berikut:

$$M_c = 0.85 \cdot f'_c \cdot \bar{A}_c \cdot \bar{y}$$

dengan \bar{A}_c = Luas penampang beton tekan, \bar{y} = jarak dari garis netral ke pusat penampang beton tertekan.

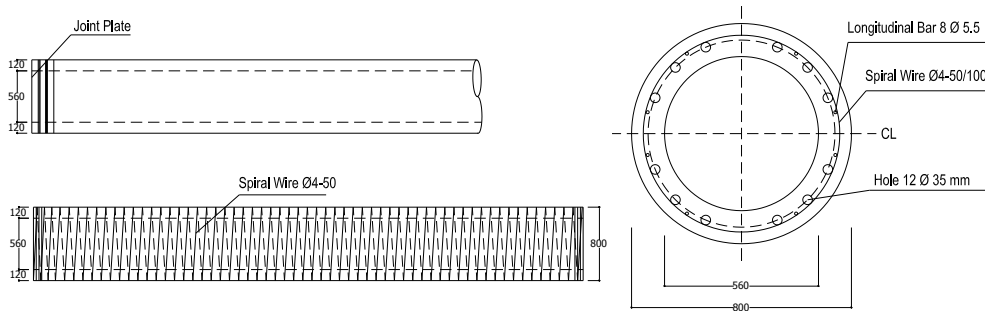
Moment total untuk tiang pancang prestress beton berongga adalah:

$$M_u = M_{sp} + M_{sl} + M_c$$

METODE

Pemodelan Tiang Pancang Hollow Pile

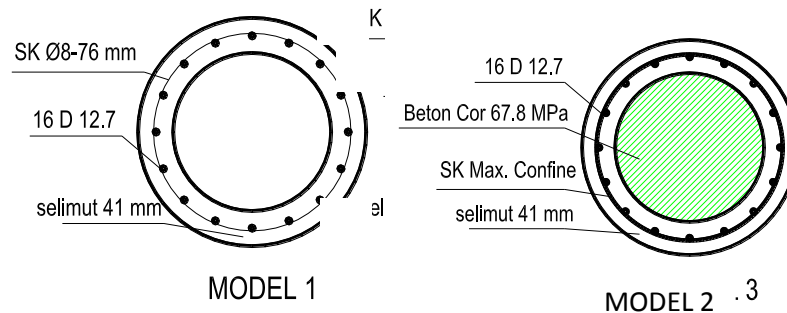
Pemodelan dilakukan dengan memodelkan tiang pancang prestress hollow pile dimensi penampang 600 mm kedalam program elemen hingga secara 3D solid model. Program elemen hingga yang digunakan adalah Program Abaqus versi 6.10 dan Xtract.



Gambar 5. Model Tiang Pancang Uji.

Spesifikasi hollow pile yang digunakan sebagai benda uji dalam permodelan penelitian disesuaikan dengan spesifikasi pada pengujian eksperimental yang dilakukan oleh Budek, Benzoni dan Priestley (1983) sebagai berikut:

- Dimensi Luar = 610 mm
- Dimensi Dalam = 422 mm
- Panjang Tiang = 7310 mm
- Mutu Beton = 67.8 MPa
- Mutu Strand = Ø 12.7 mm
- Tensile Load Strand = 18700 Kg
- Spiral Wire = Ø8-76
- Mutu Baja Spiral = 647 MPa
- Axial akibat prestress = 890 kN
- Jarak perletakan sendi = 0.605 m

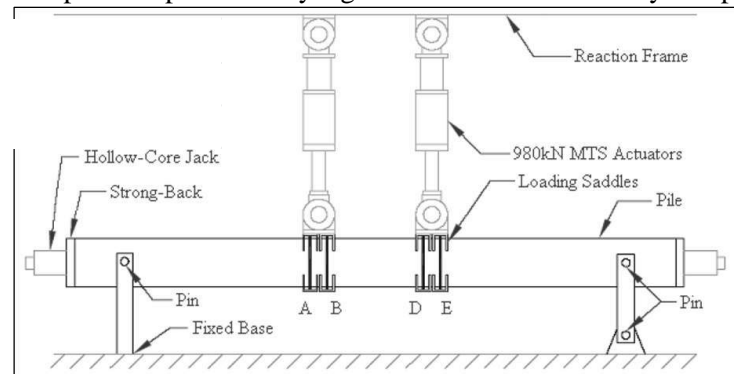


Gambar 6. Permodelan *Hollow Pile* Penentuan.

Pendefinisi Beban dan Boundary Condition

Beban yang digunakan adalah beban axial sebesar 890 kN pada kedua ujung *hollow pile* atau 10% kapasitas penampang akibat gaya tekan prestress.

Tiang pancang dimodelkan dengan perletakan sendi-sendi pada jarak 0.605 m dari ujung tiang sesuai dengan tata cara pada eksperimental yang dilakukan budek benzony dan priestly.



Gambar 7. Posisi Tumpuan dan Beban.

HASIL DAN PEMBAHASAN

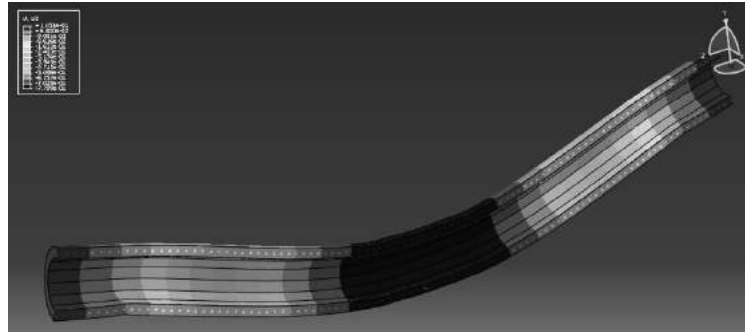
Hasil Analisa Daktilitas Displacement dan Momen Kurvatur.

- **Daktilitas Displacement**

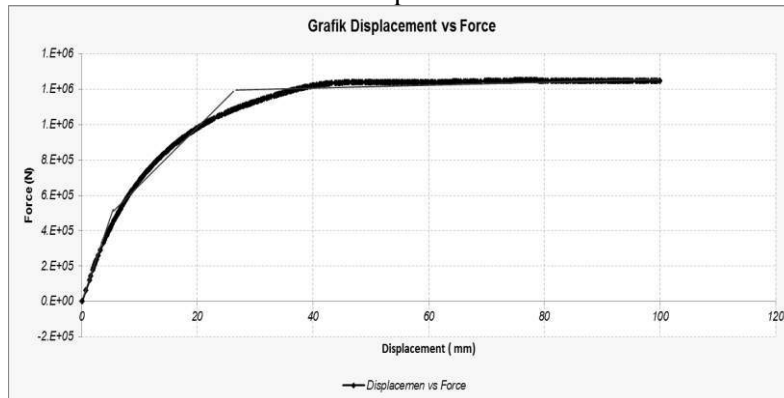
Nilai daktilitas displacement dihitung berdasarkan rumus (1) sampai (5). Hasil perhitungan manual prediksi displacement yang terjadi pada penampang tiang pancang 600 mm berongga model 1 adalah sebagai berikut.

$$\frac{\Delta_u}{\Delta_y} = \frac{55.41}{52.85} = 1.04$$

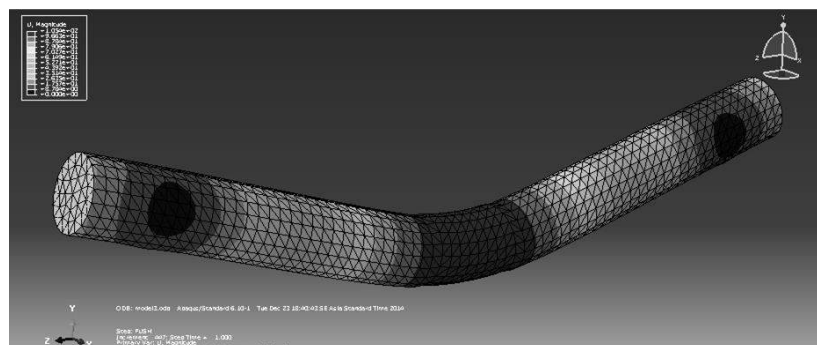
Sementara hasil Analisa daktilitas displacement dengan program bantu Abaqus adalah sebagai berikut:



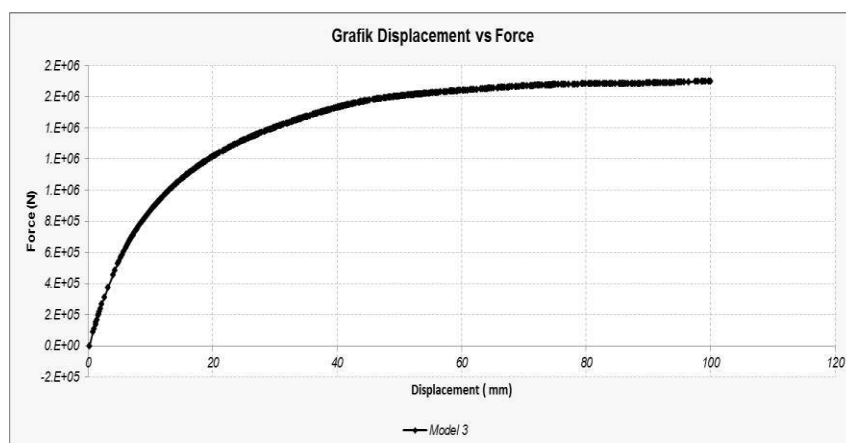
Gambar 8. Kontur Displacement Maksimum Model 1.



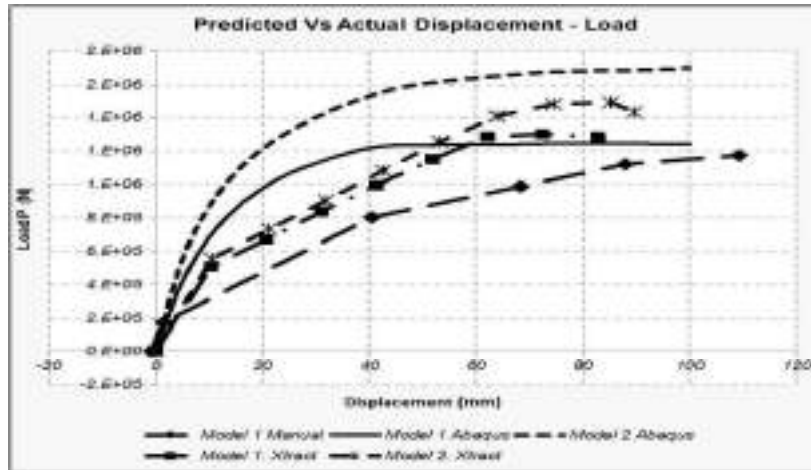
Gambar 9. Grafik Plot Hubungan Gaya dan Displacement analisa ABAQUS 6.10. Dengan mengacu kepada prinsip pemodelan seperti pada model 1, pemodelan untuk displacement kontrol pada model 3 *hollow pile* dengan penambahan material pengisi berupa beton cor $f'c = 67.8$ MPa, sebagai berikut:



Gambar 10. Displacement Kontrol pada Permodelan 2.



Gambar 11. Output Grafik Hubungan Displacement vs Force Model 2.



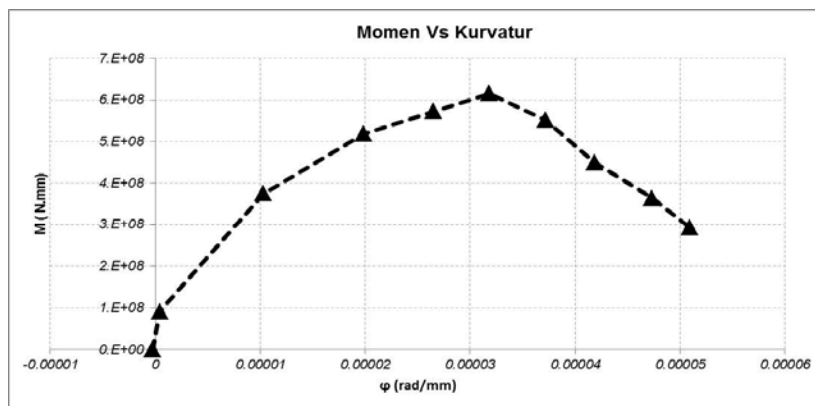
Gambar 12. Output Grafik Perbandingan Hubungan *Displacement vs Force* Model 1 dan 2

• **Daktilitas Kurvatur**

Dalam analisa diagram momen dan kurvatur penampang prestress, di perlukan setidaknya empat data kondisi dari penampang tiang, yaitu saat tiang pancang mengalami *decompression* akibat tegangan awal prestress, saat kondisi crack, leleh dan saat ultimate, analisa momen-kurvatur menggunakan rumus (6) sampai (12) dan juga dilakukan analisa try and error tiap peningkatan regangan 0.001 pada beton. Berikut adalah hasil perhitungan momen – kurvatur tiang pancang hollow pile dia.600 mm.

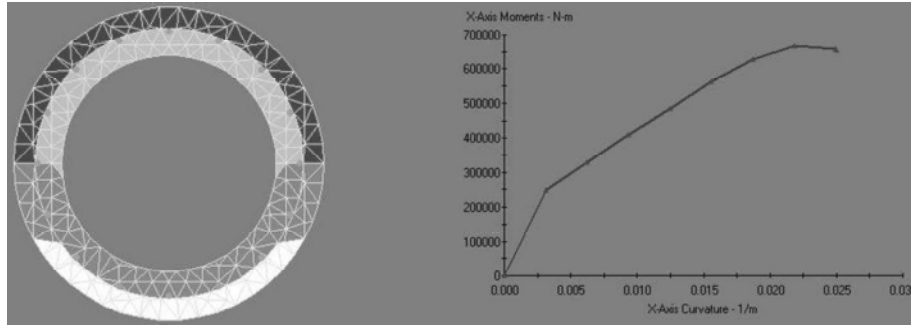
Tabel 1. Hasil Analisa Manual Daktilitas Kurvatur 0.001-0.004.

| REGANGAN BETON SERAT ATAS | | | | |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0.001 | 0.002 | 0.003 | 0.004 |
| Tinggi Garis Netral (mm) | 96.99050018 | 100.9151651 | 113.0572807 | 125.7254981 |
| Moment (N.mm) | 374476320.4 | 518094603.4 | 572393784.3 | 614961927.3 |
| Kurvature (Rad/mm) | 1.03103E-05 | 1.98186E-05 | 2.65352E-05 | 3.18153E-05 |
| REGANGAN BETON SERAT ATAS | | | | |
| | 0.005 | 0.006 | 0.007 | 0.008 |
| Tinggi Garis Netral (mm) | 134.44616 | 143.3746244 | 147.9133872 | 157.1330658 |
| Moment (N.mm) | 551508388 | 449748857.4 | 364566897.2 | 293209205.2 |
| Kurvature (Rad/mm) | 3.719E-05 | 4.18484E-05 | 4.7325E-05 | 5.09123E-05 |



Gambar 13. Grafik Momen dan Kurvatur Analisa Perhitungan Manual.

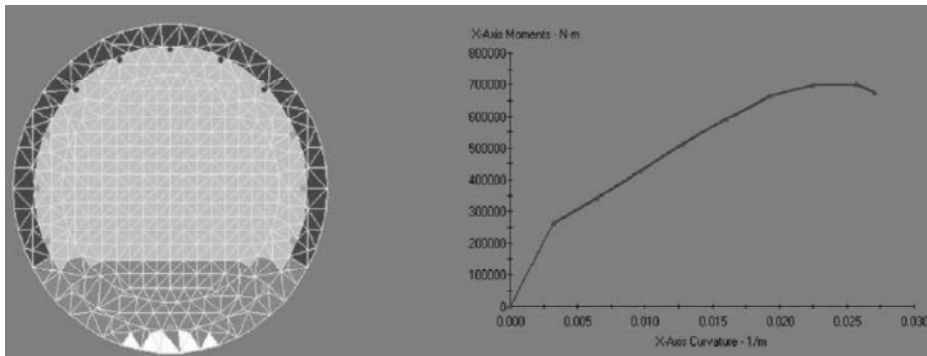
Sementara hasil Analisa daktilitas displacement dengan program bantu Xtract adalah sebagai berikut



Gambar 14. Hasil XTRACT Moment dan Kurvatur

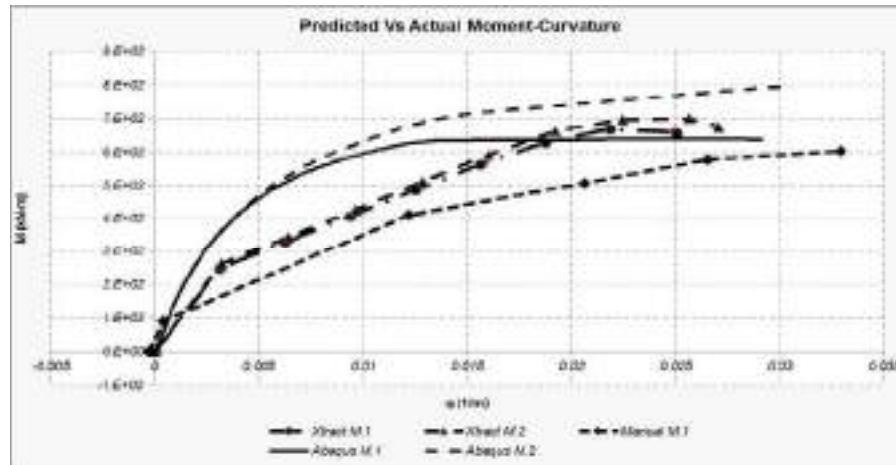
Dari hasil analisa diatas, moment saat leleh pertama sebesar 520.3 kN.m dengan kurvatur leleh sebesar 0.01213 1/m, dan moment saat ultimate sebesar 655 kN.m dengan kurvatur ultimate sebesar 0.02502 1/m, sehingga didapatkan daktilitas curvature $\frac{\phi_u}{\phi_y} = 2.06$. Untuk tinggi garis netral (KD) pada saat leleh pertama adalah 150.8 mm dan pada pada saat ultimate (C) sebesar 144.6 mm yang di hitung dari serat terbawah penampang.

Dengan mengacu kepada prinsip pemodelan seperti pada model 1, pemodelan untuk momen - kurvatur kontrol pada model 3 *hollow pile* dengan penambahan material pengisi berupa beton cor $f'_c = 67.8$ MPa, sebagai berikut:



Gambar 15. Hasil XTRACT Moment dan Kurvatur

Dari hasil analisa Momen-Curvature pada model 3 *hollow pile* diatas, didapatkan moment saat leleh pertama sebesar 321.6 kN.m dengan kurvatur sebesar 0.005603 1/m, dan moment saat ultimate sebesar 829.9 kN.m dengan kurvatur sebesar 0.02317 1/m, sehingga didapatkan daktilitas curvature $\frac{\phi_u}{\phi_y}$ adalah 4,13. Untuk tinggi garis netral (KD) pada saat leleh pertama adalah 116.4 mm dan pada saat ultimate (C) sebesar 161.2 mm yang di hitung dari serat tarik terbawah penampang.



Gambar 16. Grafik Perbandingan Momen dan Kurvatur model 1 dan 2.

KESIMPULAN

- Hasil analisa tiang pancang hollow pile eksisting diameter 600 mm dengan menggunakan analisa manual, eksperimental, *finite element* Abaqus dan Xtract, menunjukkan hasil hollow pile eksisting tidak dapat berperilaku daktil, hal ini ditunjukkan dari nilai daktilitas kurvatur eksperimental sebesar 2.54, analytical manual sebesar 2.15 dan hasil analisa Xtract sebesar 2.062.
- Daktilitas hollow pile eksisting diameter 600 mm, tidak memenuhi batas persyaratan minimum yang disyaratkan dalam peraturan SNI ataupun ACI, dimana batas minimum yang disyaratkan adalah 4 untuk daktilitas displacement dan 16 untuk daktilitas kurvatur.
- Penambahan material beton cor 67,8 MPa sebagai material pengisi rongga hollow pile, memberikan dampak yang signifikan terhadap peningkatan nilai daktilitas hollow pile, nilai daktilitas kurvatur meningkat sebesar 137.15 % dari nilai daktilitas eksisting awal pada model 1, dimana nilai daktilitas yang di hasilkan dari model 2 ini adalah sebesar 4.83.

REFERENSI

- [1] Pauley, T. dan , Priestley, M.N.J. (1991). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building*, Department of Civil Engineering Univesity of Canterbury Christchurch, New Zealand.
- [2] Budek, A.M, Benzoni, G., dan Priestley, M.J.N. (1997). "Eksperimental Investigation of Ductility of In-Ground Hinges in Solid and Hollow Prestressed Piles", Division of Structural Engineering University of California, San Diego La Jolla California, Report No. SSRP 97/17.
- [3] Ikeda, S., Tsubaki, T., dan Yamaguchi, T. (1982). "Ductility Improvement of Prestressed Concrete Piles", Transactions of the Japan Concrete Institute, Vol. 4, 1982, pp.531-538
- [4] Park, R., Paulay, T.(1974). *Reinforced Concrete Structures*, Department of Civil Engineering Univesity of Canterbury Christchurch New Zealand.
- [5] Park, R., Falconer, T.J., (1982). "Ductility of Prestressed Concrete Pile Under Seismic Loading", Department of Civil Engineering, University Of Canterbury Christchurch New Zealand. Research Report No. 82-6.
- [6] Sheppard, D.A., (1983). "Seismic Design of Prestressed Concrete Pilling", PCI Journal, vol. 28, no. 2 March/April 1983, pp. 20-49.
- [7] Ha, T.L., Sutono, R., (1986) "Daktilitas Tiang Pancang Bulat Berongga", Skripsi S1, no. 241 S, Jurusan Teknik Sipil, Universitaas Kristen Petra, Surabaya.
- [8] Raka, I.G.P. (2013) "Duktilitas Penampang Tiang Pancang Pratekan Bulat Berongga Hasil Pemadatan Sentrifugal", *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil IX-2013 vol. II, Jurusan Teknik Sipil ITS*, Surabaya, 2013.

- [9] Tavio, Kusuma, B. (2010) “Studi Analisa Pengaruh Pengekangan Terhadap Kapasitas Interaksi P-M Tiang Pancang Prategang”, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 4 Sanur, Bali, Jurusan Teknik Sipil ITS*, Surabaya, Juni 2010.
- [10] Purwono, R.,Tavio.,Imran, I.,Raka, (2009) I.G.P., *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002) Dilengkapi Penjelasan (S-2002)*, ITSPRESS, Surabaya.