

PENGARUH JARAK TULANGAN BAMBU PADA STRUKTUR CANGKANG BETON BAMBU KOMPOSIT

Siti Nurlina, Hendro Suseno, Devi Nuralinah, Indradi Wijatmiko,
Bhondana Bayu B.K .

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono 167 Malang - 65145

ABSTRAK

Cangkang dalam penggunaannya pada teknologi struktur tingkat lanjut, umumnya menggunakan tulangan baja untuk kekuatan dan daktilitas. Tetapi pada masa sekarang, tulangan baja yang dijual di pasaran relatif mahal. Oleh karena itu, perlu adanya bahan pengganti tulangan baja yang lebih murah. Penggunaan komposit anyaman bambu dapat digunakan sebagai alternatif tulangan pada struktur cangkang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan kapasitas beban dari cangkang yang berukuran (120 x 60) cm dengan sudut lengkung 54 derajat dengan variasi jarak tulangan bambu yaitu 10cm, 8cm, dan 6cm. Masing-masing tiga benda uji, dan menggunakan model struktur cangkang 1 arah. Pembebanan dengan menggunakan beban garis pada 3 lokasi. pada hasil eksperimen dan uji statistik pada data hasil pengujian cangkang tipis dengan menggunakan variasi jarak tulangan bambu, tak terlihat adanya pengaruh yang signifikan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa cangkang bekerja sebagai struktur tekan penuh, sehingga tulangan hanya bekerja sebagai pengekang dan beton berkerja sepenuhnya.

Kata-kata kunci : cangkang tipis, beton pracetak, tulangan bambu, komposit.

Beton dibentuk oleh pengerasan campuran semen, air, agregat halus, agregat kasar, udara, dan kadang-kadang campuran bahan tambahan lainnya. Campuran yang masih plastis ini dicor ke dalam acian dan dirawat untuk mempercepat reaksi hidrasi campuran semen-air, yang menyebabkan pengerasan beton. Bahan yang terbentuk ini mempunyai kekuatan tekan yang tinggi, dan ketahanan terhadap tarik rendah, atau kira-kira kekuatan tariknya 0,1 kali kekuatan terhadap tekan. Maka penguatan tarik dan geser harus diberikan pada daerah tarik dari penampang (Nawy, 2008).

Bambu tersedia dalam jumlah yang cukup banyak dan harganya juga relatif lebih murah dibandingkan dengan kayu maupun baja. Bambu memiliki kuat tarik yang tinggi terhadap lentur pada arah

lateral, maka dapat digunakan menjadi komposit dengan beton. Dengan kuat tarik yang tinggi maka bambu secara efektif dapat digunakan sebagai bahan bangunan yang andal, bambu dengan bahan beton sudah lama diupayakan dan diteliti. (Dewi, 2005).

Dengan memberikan tulangan anyaman bambu pada cangkang komposit ini maka diharapkan anyaman bambu akan berfungsi sebagai tulangan pada saat cangkang mengalami lendutan. Lapisan anyaman bambu akan berperan serta dalam menahan lendutan yang terjadi bersama-sama dengan beton diharapkan akan menambah daktilitas dan kekuatan dari cangkang tersebut. Sehingga keruntuhan yang terjadi tidak membahayakan. Sifat fisik bambu adalah mempunyai banyak serat. Serat-serat inilah yang mempunyai pengaruh

terhadap besarnya gaya normal yang dapat ditahan oleh bambu. Menurut penelitian para ahli, bambu memiliki tegangan tarik yang cukup besar terutama pada bagian kulitnya. Morisco pada tahun 1994-1999 melakukan penelitian kekuatan tarik beberapa jenis bambu.. Hasil pengujian seperti yang tercantum pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Kuat tarik bambu

Jenis bambu	Tanpa buku (MPa)	Dengan Buku (MPa)
bambu Ori	291	128
bambu Petung	190	116
bambu Wulung	166	147
bambu Legi	288	126
bambu Tutul	216	74
bambu Apus	151	55

(Sumber : Morisco (2005))

Dinas Penelitian Masalah Bangunan (DPMB) melakukan penelitian sifat mekanika bambu pada tahun 1984, salah satunya adalah penelitian Modulus elastisitas bambu seperti pada Tabel 2. Pengujian dilakukan dengan bambu Apus, bambu Temen, dan bambu Petung. Bambu yang digunakan yang baik dan bebas cacat, berumur lebih dari tiga tahun, tinggi bambu ± 12 m. Dalam penelitian ini digunakan data kuat tarik bambu apus dengan buku, yaitu 55 MPa dan modulus elastisitasnya sebesar 4.467 MPa. Yang akan digunakan datanya untuk analisis numeris menggunakan program komputer.

Cangkang beton merupakan sebuah bidang lengkung yang lebar, cangkang memiliki ketebalan yang jauh lebih kecil dan memberikan kekakuan yang lebih besar jika dibandingkan dengan dimensi struktur yang lain. Struktur ini banyak sekali digunakan dalam bidang teknik sipil, misalnya pada struktur arsitektural,

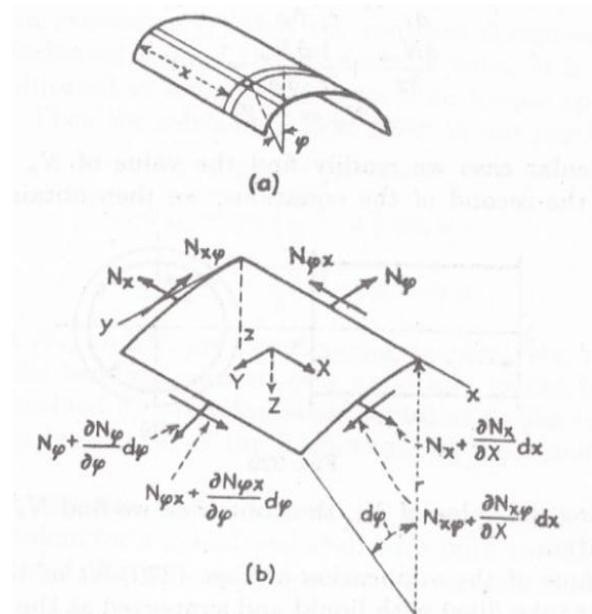
atap (arc), jembatan, bendungan tinggi, Kubah, anggar dan sebagainya. (Tedesko, 1995).

Dalam pembahasan cangkang silindris kita dapat melihat potongan sepanjang dx dan selebar dy dari cangkang terhadap penampang keseluruhan geometri (a) dan divisualisasikan juga skema gaya-gaya yang terjadi pada potongan tersebut (b) dan kita anggap bahwa rusuk cangkang tersebut horisontal dan sejajar terhadap sumbu x . (Timoshenko, 1999) seperti pada **Gambar 1**.

Tabel 2. Modulus elastisitas bambu

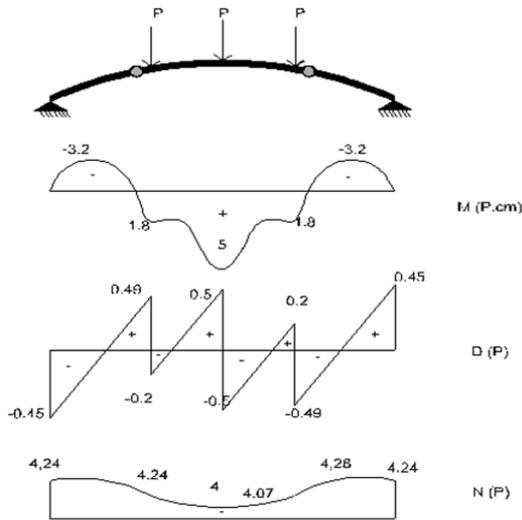
Jenis Bambu	E_{bambu}	
	Dengan Buku	Tanpa Buku
B. Apus	4.467	7.796
B. Temen	9.193	2.435
B. Petung	12.533	18.989

(Sumber : Morisco (2005))



(Sumber : Timoshenko, 1999)

Gambar 1. Skema gaya pada penampang cangkang



Gambar 2. Statika pada cangkang

Cangkang silindris yang dibebani secara simetris terhadap sumbu. dalam penerapan paraktis, sering kali dihadapkan pada perlahan cangkang silindris yang bundar dan mengalami pembebanan gaya yang terbagi rata terhadap sumbu silindrisnya. Dengan menggunakan persamaan matematis dan statika sederhana untuk mengetahui kelengkungan dari cangkang dan reaksi tumpuan yaitu terlihat pada **Gambar 2**.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku struktur cangkang tipis komposit beton-bambu pracetak pada skala eksperimental, dan pengaruh variasi jarak tulangan anyaman bambu terhadap kekuatan struktur cangkang tipis komposit beton-bambu pracetak.

METODE PENELITIAN

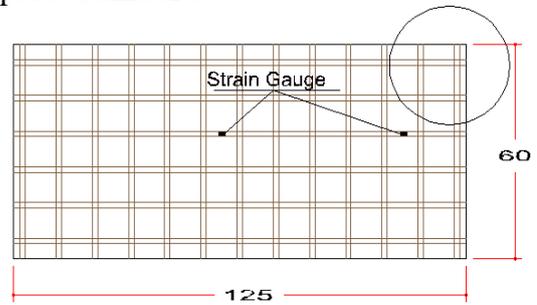
Model eksperimen cangkang

Jumlah benda uji dalam penelitian ini adalah 9 (sembilan) unit yang terdiri dari :

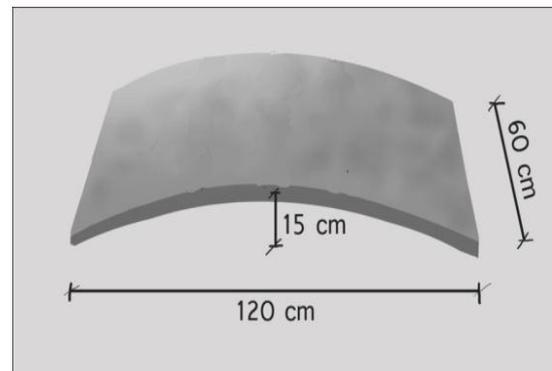
1. 3 (tiga) buah cangkang tipe A dengan jarak tulangan bambu 10 cm.
2. 3 (tiga) buah cangkang tipe B dengan jarak tulangan bambu 8 cm.

3. 3 (tiga) buah cangkang tipe C dengan jarak tulangan bambu 6 cm.

Masing-masing benda uji terdiri dari cangkang beton dengan tebal 2 cm diberi tulangan bambu dalam dua arah x dan y yang berada ditengah penampang cangkang (tulangan tengah) dan dengan luas per lajur tulangan bambu yaitu sebesar 1,5 x 0,2 cm, $f_{sb} = 55\text{MPa}$ modulus elastisitas searah serat bambu sebesar 4.467MPa. Hasil penelitian yang diperoleh kemudian diolah dan dianalisis dengan menggunakan ANOVA satu arah. Pemodelan benda uji menggunakan tulangan anyaman bambu seperti terlihat pada **Gambar 3**.



(a) Penulangan dan posisi strain gauge



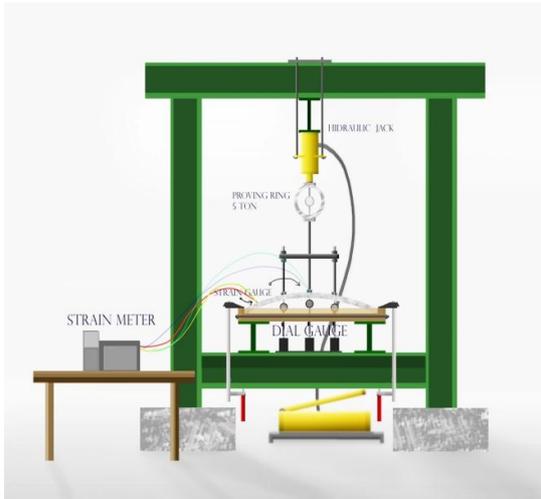
(a) Pemodelan 3 dimensi

Gambar 3. Benda uji cangkang.

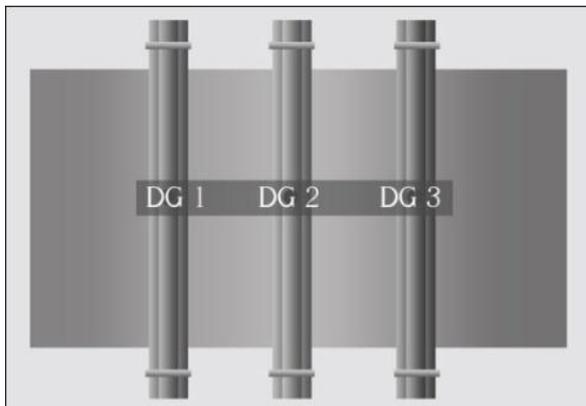
Setting up eksperimen

Pada setiap tipe variasi cangkang (shell) dipasang DG (Dial Gauge) dengan jumlah dan letak yang sama, dan dengan penumpuan sederhana. Penentuan jumlah dan letak DG didasarkan pada hasil pemodelan awal struktur dengan program bantu Hasil dari pemodelan tersebut

menampilkan perilaku deformasi struktur jika dibebani, DG dipasang pada titik-titik yang dapat merepresentasikan perilaku struktur yang terdeformasi. Pemberian beban, kondisi tumpuan, jumlah dan posisi DG pada cangkang tampak samping dan atas dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **5**.



Gambar 4. Rancangan eksperimen.



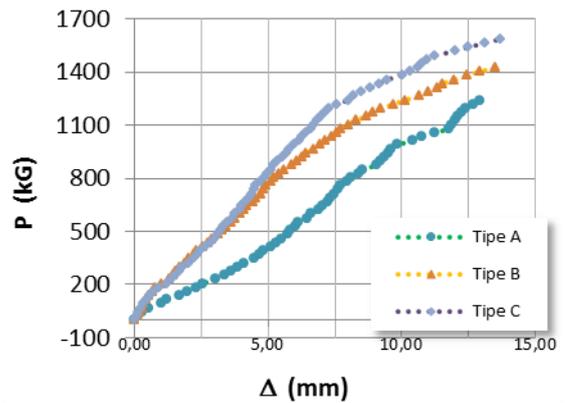
Gambar 5. Tampak atas pembebanan.

Variabel penelitian

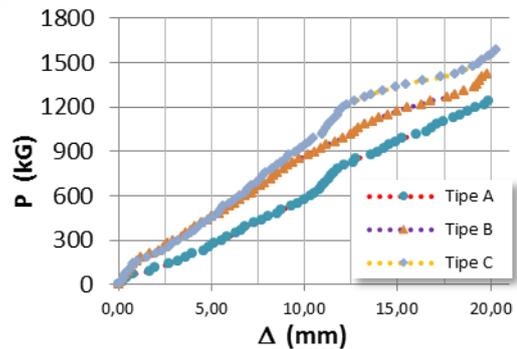
1. Variabel Bebas (independent variable) yaitu jarak tulangan bambu, dan beban tahap.
2. Variabel Terikat (dependent variable): yaitu beban batas, beban retak, lendutan, regangan dan pola retak.

HASIL PENELITIAN

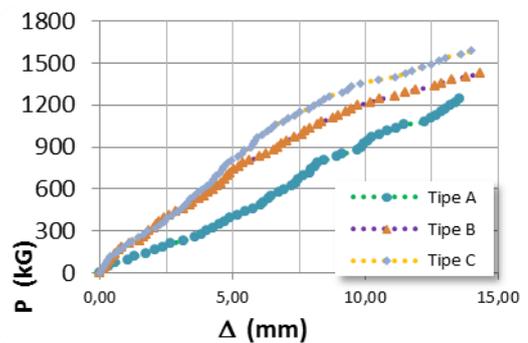
Pengujian cangkang dilakukan dengan menggunakan 3 buah dial gauge yang diletakkan seperti pada **Gambar 5**. Maka grafik hubungan beban (P) dan lendutan (Δ) pada cangkang dapat dilihat pada **Gambar 6** sampai **8**.



Gambar 6. Perbandingan grafik beban dan lendutan rata-rata DG1



Gambar 7. Perbandingan grafik beban dan lendutan rata-rata DG2



Gambar 8. Perbandingan grafik beban dan lendutan rata-rata DG3

Dari **Gambar 6** sampai dengan **Gambar 8** dapat diketahui bahwa beban maksimum dari cangkang tipe A sebesar 1242 kg, tipe B sebesar 1380 kg, dan tipe C sebesar 1530 kg, dengan $f'c$ sebesar 27,1 MPa, maka tak begitu memberikan perbedaan yang signifikan pada beban maksimum di setiap variasi cangkang, sedangkan lendutan di $P = 966$ kg pada setiap variasi cangkang dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Lendutan cangkang rata-rata di $P = 966$ kg

DG	Tipe Cangkang		
	A	B	C
1	9.6	6.7	5.8
2	14.7	11.3	10.5
3	10.2	7.31	5.95

Dari **Tabel 3** dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan nilai lendutan dari setiap variasi cangkang, berarti bahwa angka tulangan berpengaruh pada stabilitas cangkang.

Hubungan beban dan regangan.

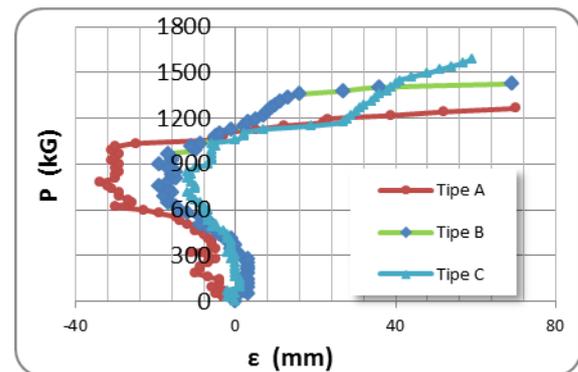
Perbandingan yang dapat diamati yaitu antara variasi jarak tulangan bambu 10 cm (tipe A), 8cm (tipe B), dan 6cm (tipe C). Grafik perbandingan beban (P) dan regangan (ϵ) setiap variasi cangkang pada regangan ujung dan tengah sesuai dengan **Gambar 4 (a)** dan hasilnya dapat dilihat pada **Gambar 9** dan **Gambar 10**.

Dari **Gambar 9** terlihat bahwa pada ϵ ujung terjadi regangan tarik pada interval 0-400, setelah itu terjadi regangan tekan pada interval 400-1100 kg, dan kembali memiliki regangan tarik pada pembebanan 1100 keatas hingga runtuh.

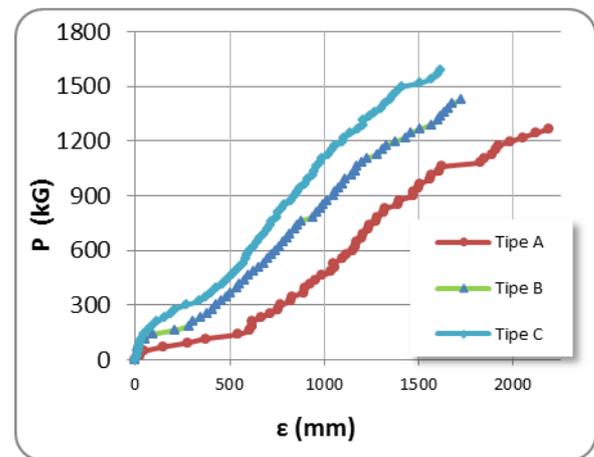
Dari **Gambar 10** terlihat bahwa pada ϵ tengah, regangan terus bertambah secara proporsional pada interval beban 0-140 kg. Regangan meningkat setelah retak awal pada interval beban 140-400 kg, Regangan kembali stabil pada interval

beban 400-1200 kg, dan kembali meningkat setelahnya hingga runtuh.

Dari **Gambar 10** terlihat bahwa pada ϵ tengah, regangan terus bertambah secara proporsional pada interval beban 0-140 kg. Regangan meningkat setelah retak awal pada interval beban 140-400 kg, Regangan kembali stabil pada interval beban 400-1200 kg, dan kembali meningkat setelahnya hingga runtuh.



Gambar 9. Grafik hubungan beban dan regangan ujung cangkang



Gambar 10. Grafik hubungan beban dan regangan tengah cangkang

Hubungan jarak tulangan bambu, lendutan dan kapasitas beban.

Analisis statistik dengan menggunakan ANOVA satu arah dapat dilihat pada **Tabel 4** dan **Tabel 5**.

Tabel 4. Analisis Statistik pada Lendutan di $P = 966$ kg

SK	DB	(JK)	(KT)	f.h	F.t
Variasi	3	29.9	14.9	2.1	3,5
Galat	9	43.8	7.3		

Tabel 5. Analisis Statistik pada beban maksimum

SK	DB	JK	KT	f.h	F.t
Variasi	3	102038	51,1	2.5	3.5
Galat	9	120377	20,1		

Pada **Tabel 4** menunjukkan analisis statistik pada lendutan cangkang dengan nilai f hitung lebih kecil dibandingkan dengan F tabel maka diambil keputusan terima H_0 dalam arti tidak ada pengaruh dari variasi jarak tulangan bambu yang signifikan terhadap lendutan cangkang, dan pada **Tabel 5** terbukti pula bahwa pada analisis statistik pada beban maksimum cangkang menunjukkan nilai f hitung lebih kecil dibandingkan dengan nilai F tabel maka diambil keputusan terima H_0 berarti tidak ada pengaruh yang signifikan dari variasi jarak tulangan bambu terhadap beban maksimum pada cangkang.

Pola retak cangkang

Pada setiap variasi cangkang (Tipe A, sampai tipe C), memiliki pola retak dan retak awal (*initial crack*) yang hampir serupa seperti terlihat pada **Gambar 13**.

Pada **Gambar 12** terlihat pola retak dimulai dari bagian tengah bawah cangkang tepat di titik dimana dial gauge 2 diletakkan (a). Retak awal ini merupakan retak lentur atau tarik dimana kekuatan struktur sepenuhnya masih dipikul oleh beton tarik, pada tahap pemberian beban berikutnya sampai mencapai $2/3$ beban puncak, keretakan tarik semakin banyak dan panjang, lalu terjadi retak di bagian atas cangkang yang berada di $1/4$ penampang cangkang di kiri

dan kanan, dan mulai mengarah kepada keretakan tekan, dimana retak tersebut mulai mengarah ke daerah tumpuan (b).



(a) Tampak bawah cangkang



(b) Tampak samping cangkang

Gambar 12. Pola retak cangkang

PEMBAHASAN

Anton Tedekso dan beberapa penelitian serta disainnya mengenai struktur cangkang beton untuk atap anggar, gudang, dan aula pasar menegaskan efektifitas penggunaan struktur cangkang yang sangat luar biasa dan telah diterapkan diberbagai konstruksi di dunia, serta juga dibuktikan dalam penelitian ini, beliau juga menegaskan bahwa penggunaan struktur cangkang dengan perbedaan biaya yang tak signifikan dibandingkan struktur pelat, dapat memberikan kekakuan yang lebih besar serta aplikasinya dilapangan yang dinilai tak begitu sulit dan kompleks, maka struktur cangkang adalah inovasi yang brilian di dunia akonstruksi dunia (Tedesko, 1950).

Dari hasil eksperimen ini dengan menggunakan struktur cangkang dengan tebal 2 cm dan panjang bentang 120 cm dengan penyetaraan dari penelitian Tedesko dkk yang memiliki tebal 13 cm dengan panjang bentang 10 m, maka terbukti bahwa struktur cangkang cangkang memiliki kekuatan yang lebih besar yaitu dengan beban lentur (P) berkisar antara 1300 sampai 1500 kg dibandingkan dengan pelat yang hanya memberikan beban vertikal batas sebesar 100 sampai dengan 200 kg dengan ketebalan dan bentang yang sama (Bhondana, 2005).

Dari hasil pengamatan lendutan cangkang pun menunjukkan hasil yang menjanjikan pada penelitian ini dimana cangkang tidak retak selama masih bersifat elastis, walaupun telah mencapai beban batasnya lendutan yang dihasilkan masih dapat diterima, sama halnya pada penelitian oleh Dyckerhoff dan Widmann yang telah mendisain penelitian paling inovatif di eranya pada tahun 1950.

Dari **Gambar 7** sampai dengan **Gambar 9** yang menunjukkan hubungan beban dan lendutan pada cangkang silindris yang juga merepresentasikan hubungan momen dan kelengkungan (moment curvature) data hasil dari eksperimen ini dapat dilihat bahwa perilaku struktur cangkang tidak jauh berbeda dengan hasil uji yang dilakukan oleh polak dan vecchio (lihat polak and vecchio gambar 10) yang dalam pembahasannya menjelaskan bahwa cangkang memiliki sifat statis taktentu tingkat tinggi dan memiliki lebih dari satu orde keruntuhan maka dari gambar hubungan antara momen dan kelengkungan terlihat adanya perkuatan lagi setelah retak dan pada kondisi stabilitas orde yang lebih tinggi.

Pengaruh angka tulangan dan luasan tulangan pada struktur cangkang tak menunjukkan angka yang signifikan, terbukti dari data penelitian secara

statistik terlihat pada **Tabel 4** dan **Tabel 5** maka banyak penelitian dan analisa numerik tidak memperhitungkan angka dan luasan tulangan serta hal ini juga dibuktikan dari beberapa penelitian dan analisis teoritis para peneliti sebelumnya maka didapat kesimpulan bahwa cangkang memiliki perilaku struktur tekan dan lentur sekaligus dan terlihat pula dari perilaku retak pada cangkang, member cangkang dalam pembebanan lentur memberikan perilaku tekan (membrane) lebih dominan dan tertekuk pada orde ke tiga (Tedesko, 1995).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu:

- (1) Setiap tipe cangkang pracetak bambu komposit, memiliki nilai hubungan beban dan lendutan yang sama, yaitu setelah retak pertama cangkang mengalami penurunan kekuatan, setelah itu kembali menguat pada pembebanan berikutnya hingga retak kedua dan seterusnya, dan cangkang tertekuk pada orde ke tiga.
- (2) Dari hasil eksperimen, dan analisis statistik tidak terlihat juga adanya pengaruh yang signifikan dari variasi jarak tulangan terhadap kekuatan cangkang komposit beton-bambu, hal ini membuktikan bahwa beton bekerja sepenuhnya dan akan lebih baik menggunakan beton mutu tinggi.

Penulis memberikan saran yaitu::

- 1) Dalam penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menggunakan tipe dan jenis cangkang yang lain.
- 2) Dalam penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menggunakan beton mutu tinggi, sehingga dapat di bandingkan seberapa signifikan perbedaannya dengan menggunakan beton mutu biasa.

- 3) Dalam penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menggunakan struktur cangkang dua arah yang diharapkan dapat lebih memberikan informasi mengenai perilaku cangkang.
- 4) Pada penelitian selanjutnya hendaknya memperhitungkan karakteristik agregat.
- 5) Pada penelitian selanjutnya hendaknya menggunakan asumsi yang lebih tepat pada analisis numeris.

DAFTAR PUSTAKA

Bayu, Bhondana. 2010, Pengaruh Variasi Jarak Shear Conector dan Proporsi Campuran Terhadap Kapasitas Lentur Pelat Lapis Gedek dengan Menggunakan Agregat kasar Limbah Beton, Skripsi, Unibraw, Malang.

Dewi, Srimurni, 2005, Perilaku Pelat Lapis Komposit Bambu Spesi Pada Beban in-plane dan Beban Lentur, Disertasi S3 ITS, Surabaya.

Dyckerhoff dan Widmann, 1935. Verzeichnis Der Ausgefuehrten Schalenbauten. Princeton Tedesko Archive, Princeton, N.J.

Morisco. 1996. Bambu Sebagai Bahan Rekayasa, Fakultas Teknik Sipil dan Arsitektur UGM.

Nawi, Edward G. 1998. Beton Bertulang, Suatu Pendekatan Dasar. Terjemahan Ir. Bambang Suryoatmono, M.Sc. Bandung: PT Refika Aditama.

Polak, M.A & Vecchio, F.J Reinforced concrete shell element subjected to bending and membrane load, ACI JOURNALS vol 91, 1994, hal. 262-268.

Tedesko, A. Anton tedesko and the introduction of thin shell concrete roof in united states, ASCE JOURNALS vol 130, no 11, 2004, hal. 1639-1650.

Timoshenko, Stephen P & Krieger, S Woinowsky. 1959. Theory Plates and Shells. McGraw Hillkogakusha, Ltd.