

**TUGAS AKHIR**  
**BIDANG PERANCANGAN DAN KONSTRUKSI MESIN**

**PENERAPAN TEKNIK PENCARIAN BENTUK PADA**  
**PERANCANGAN STRUKTUR AKIBAT PENGARUH BEBAN**  
**VERTIKAL**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan  
Pendidikan Tahap Sarjana

Oleh :

**MHD. KAMAL RUZAMAL**

**NBP. 06171050**



**JURUSAN TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK-UNIVERSITAS ANDALAS**  
**PADANG, 2011**

## **ABSTRAK**

*Struktur ruang merupakan struktur yang disusun oleh kumpulan batang yang terhubung secara kaku satu sama lainnya. Dewasa ini penggunaan struktur tersebut berkembang dengan cukup pesat seperti untuk hall, stadion, gedung opera dll. Alasan utamanya adalah karena struktur ruang mampu menyediakan tempat yang luas yang mampu menampung banyak orang tanpa harus menggunakan tiang-tiang penyangga struktur. Dalam perancangannya para desainer berupaya meminimalkan pengaruh momen lentur untuk menghindari terjadinya kegagalan buckling pada struktur tersebut. Cara yang paling praktis adalah dengan menambah batang pengaku pada struktur atau dengan memperbesar penampang batang, akan tetapi hal ini dapat menambah biaya konstruksi sehingga menjadi tidak ekonomis.*

*Salah satu alternatif yang dapat digunakan tanpa menambah biaya konstruksi adalah proses perancangan dengan melibatkan teknik pencarian bentuk. Alternatif ini akan memodifikasi bentuk awal struktur menuju bentuk yang memiliki tegangan kritis paling minimum.*

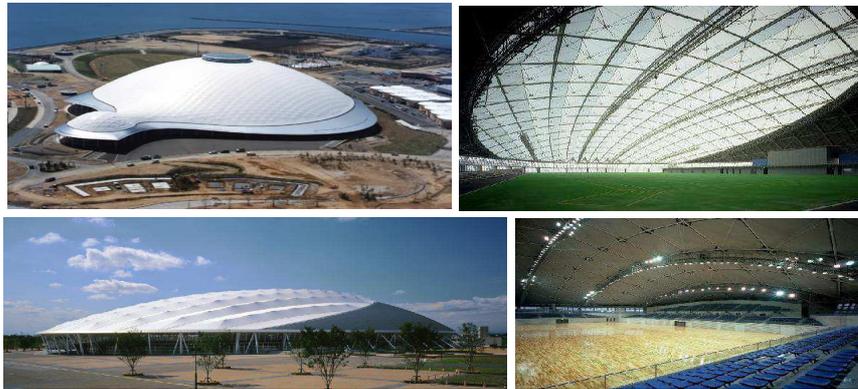
*Pada tugas akhir ini tiga buah bentuk awal, dari struktur ruang sederhana diperkenalkan untuk kemudian diterapkan teknik pencarian bentuk. Proses pencarian bentuk dibatasi oleh target fungsi yang diberikan seperti minimalisasi tegangan lentur. Proses perubahan bentuk akan berlangsung secara iterasi sampai kondisi konvergen tercapai dimana tidak terjadi lagi perubahan tegangan lentur. Keefektifan teknik ini akan dibuktikan melalui analisis kekuatan buckling antara bentuk awal struktur dan bentuk yang telah dioptimasi. Hasil penelitian menunjukkan kecenderungan ketiga model awal yaitu ellip, segitiga dan arch lingkaran yang diberikan berubah bentuk menjadi bentuk mendekati bentuk arch lingkaran. Perubahan ini meningkatkan kekuatan buckling dari ketiga model menjadi 312 kN. Dimana kekuatan buckling awal untuk arch lingkaran adalah 242 kN, bentuk ellips 72 kN dan segitiga 41 kN.*

*Kata Kunci : Pencarian Bentuk, Tegangan Bending Minimum, Kekuatan Buckling*

# 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

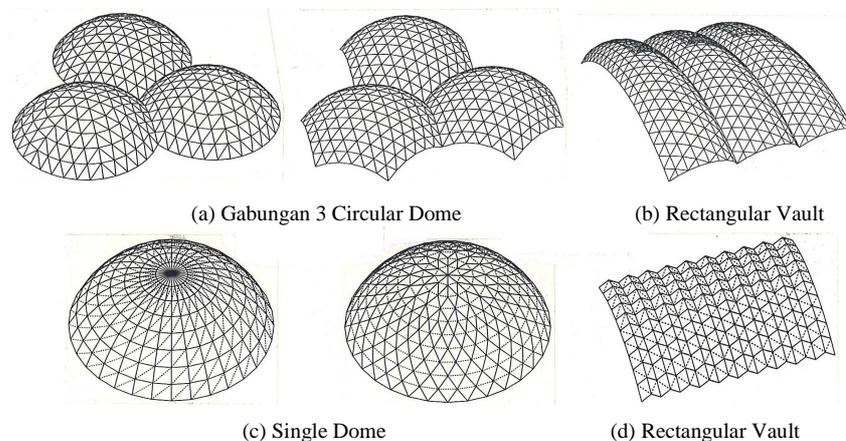
Dewasa ini, aplikasi struktur ruang dengan rentangan yang panjang (*long span structures*) di tengah masyarakat telah berkembang dengan sangat cepat. Tidak hanya karena struktur-struktur tersebut mampu menawarkan bentuk bangunan yang atraktif, elegan dan indah dari sisi arsitektur, tetapi juga karena mereka mampu menawarkan kekuatan struktur yang baik dengan biaya konstruksi yang ekonomis. Bagian atap struktur ini biasanya dimodelkan sebagai struktur *lattice shell* yang dibangun dari sekumpulan rangka batang *frame* yang sangat kaku satu sama lainnya, yang ditumpu oleh dinding beton pada bagian sisi luarnya tanpa adanya tiang-tiang dalam sebagai penyangga. Ketiadaan tiang-tiang ini menjadikan struktur ini mampu menyediakan ruangan yang cukup besar pada bagian dalamnya sehingga dapat digunakan untuk bermacam kegiatan yang menampung banyak orang sebagai pengguna. Gbr 1.1 memperlihatkan contoh-contoh bangunan sebagai aplikasi struktur ini, seperti struktur *dome*, stadion, *hanger*, *hall*, dll.



Gambar 1.1 Contoh-contoh struktur ruang /1/.

Dalam perkembangannya, sudah banyak penelitian yang telah dilakukan terkait dengan desain struktur ruang ini. Akan tetapi bentuk geometrinya yang digunakan tidak jauh dari bentuk umum kebanyakan, misalnya bentuk bulat untuk struktur *dome* atau bentuk *arch* untuk struktur *vault*, seperti terlihat pada Gbr. 1.2. Pemilihan bentuk-bentuk ini sebenarnya berdasarkan kenyataan bahwa bentuk

bulat atau *arch* merupakan bentuk-bentuk yang memungkinkan hanya gaya aksial tekan yang bekerja dalam menahan beban-beban desain eksternal. Secara teoritis inilah sebenarnya bentuk ideal yang ingin dicapai bagi struktur-struktur ruang tersebut. Akan tetapi dalam kondisi desain sesungguhnya, akan sangat sulit bagi perancang untuk memenuhi konsep desain yang berorientasi pada gaya aksial tekan murni ini. Ada banyak faktor yang mempengaruhinya seperti gaya-gaya terpusat, bentuk kondisi batas, bentuk tumpuan, ketidakkontinuan geometri, dan sebagainya. Konsekuensinya, tegangan *bending* yang bekerja pada struktur akan cenderung dominan pada beberapa tempat. Hal inilah yang seringkali menjadi penyebab kegagalan dari struktur tersebut. Sebagai langkah antisipasi, kebanyakan usaha yang dilakukan perancang adalah dengan memperbesar penampang batang atau dengan menambahkan batang-batang pengaku untuk menurunkan tegangan *bending* yang ada. Cara ini dipandang sebagai alternatif paling praktis dalam mereduksi tegangan *bending*, sehingga banyak diterapkan oleh para perancang di lapangan, walaupun dari segi pembiayaan menjadi kurang ekonomis.



Gambar 1.2 Contoh geometri struktur-struktur ruang /2/.

Alternatif lain yang sedang berkembang adalah dengan mengontrol atau mengubah bentuk geometri awal struktur tersebut ke suatu bentuk yang mampu mereduksi tegangan *bending* yang bekerja sehingga mendekati kondisi ideal yang diinginkan, melalui suatu konsep yang dikenal dengan nama teknik pencarian bentuk (*form finding technique*). Proses perubahan bentuk geometri ini sangat

terkait dengan tipe pembebanan yang diterima struktur. Proses dimulai dengan pemberian batasan parameter geometri kepada struktur awal seperti ketinggian dan rentangannya. Kemudian dengan bantuan konsep elemen hingga, tegangan-tegangan kritis pada struktur dapat dihitung secara sederhana. Besarnya tegangan kritis ini dapat dikontrol dan direduksi melalui penerapan suatu target fungsi yang dipilih. Pada penelitian ini target fungsi yang dipilih adalah minimalisasi energi regangan dengan mereduksi harga tegangan *bending* dalam setiap langkah optimasi sampai proses konvergensi tercapai. Bentuk akhir struktur diberikan oleh bentuk struktur dengan tegangan *bending* terkecil.

Karena struktur ruang ini nantinya akan dominan dengan gaya aksial tekan yang bekerja pada setiap batang, kegagalan karena *buckling* akan menjadi permasalahan utama struktur tersebut. Oleh karena itu keefektifan teknik pencarian bentuk ini nantinya akan dilihat dari hasil perbandingan kekuatan menahan beban *buckling* dari model yang telah dioptimasi dengan model awal sebelum dioptimasi.

## **1.2 Tujuan dan Manfaat**

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan suatu bentuk optimum dari suatu struktur ruang untuk rangka atap akibat pengaruh beban vertikal dengan menggunakan teknik pencarian bentuk.

Manfaat yang diberikan oleh penelitian ini adalah ditawarkannya suatu teknik baru dalam perancangan struktur ruang dengan melibatkan teknik pencarian bentuk. Teknik ini diperkirakan merupakan suatu alternatif yang paling efektif dari cara desain konvensional, dimana geometri struktur ditentukan berdasarkan rancangan analitik, dan pengontrolan tegangan dilakukan dengan memperbesar penampang daerah kritis, atau memberikan pengaku, atau bahkan mengganti material dengan yang lebih kuat. Sementara dengan teknik pencarian bentuk, geometri struktur terus dimodifikasi ke suatu kondisi dimana tegangan kritis menjadi paling kecil. Bentuk akhir dari struktur tersebut adalah suatu bentuk yang paling optimal yang mampu mereduksi kemungkinan kegagalan jika struktur dibebani oleh beban-beban desain. Secara umum, tentu saja cara ini memberikan

banyak keuntungan terutama dari segi keamanan perancangan dan biaya yang lebih ekonomis. Dua hal ini cukup dijadikan alasan mengapa teknik pencarian bentuk sangat direkomendasikan untuk digunakan dalam perancangan struktur spartial.

### **1.3 Batasan Masalah**

Dalam penelitian ini berlaku beberapa batasan-batasan seperti:

- Model elemen yang dipilih adalah model elemen *frame*.
- Analisis dilakukan untuk kondisi material homogen, linear, elastis.
- Beban yang diperhitungkan dalam analisis hanya beban karena berat sendiri.

### **1.4 Sistematika Penulisan**

Tulisan ini diuraikan menjadi enam bab. Penulisan diawali dengan Bab 1 yang berisikan pendahuluan, dimana di dalamnya dijelaskan tentang latar belakang, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan. Selanjutnya pada Bab 2 dijelaskan tentang konsep mengenai teknik pencarian bentuk dan batasan-batasan yang berlaku di dalamnya. Karena teknik pencarian bentuk ini akan diterapkan pada struktur ruang, maka selanjutnya perlu dijelaskan konsep pemodelan struktur ruang. Untuk itu penurunan matriks kekakuan dengan menggunakan elemen *frame* 3D akan dijelaskan lebih lanjutnya, seperti yang dilihat pada Bab 3. Selanjutnya, pada Bab 4 diuraikan contoh kasus penerapan teknik pencarian bentuk pada beberapa jenis bentuk geometri struktur. Bab 5 membahas tentang keefektifan teknik pencarian bentuk yang dilihat dari perbandingan kekuatan *buckling* dari bentuk model awal dengan kekuatan *buckling* bentuk akhir hasil optimasi. Sedang penutup berisikan kesimpulan dan saran yang disajikan pada Bab 6.

## 6 PENUTUP

Dari penerapan teknik pencarian bentuk terhadap bentuk struktur dalam menahan beban vertikal ini dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

1. Teknik pencarian bentuk dapat mereduksi tegangan normal struktur akibat momen *bending* menuju harga yang paling minimum (lihat Tabel 6.1). Sebagai perbandingan, untuk struktur dengan tampak depan seperti segitiga tegangan *bending* dapat direduksi dari  $0.641 \text{ kN/cm}^2$  menjadi  $0.0048 \text{ kN/cm}^2$ , sedangkan untuk struktur dengan tampak depan seperti ellips tegangan *bending* direduksi dari  $0.265 \text{ kN/cm}^2$  menjadi  $0.0048 \text{ kN/cm}^2$ , dan bentuk *arch circular* turun dari  $0.024 \text{ kN/cm}^2$  menjadi  $0.0048 \text{ kN/cm}^2$ .
2. Jika dilihat dari kekuatan struktur dalam menahan kegagalan *buckling*, bentuk akhir yang diperoleh melalui teknik pencarian bentuk memiliki kekuatan *buckling* yang paling besar, sebesar 312 kN (lihat Tabel 6.1). Sebagai perbandingan, harga ini lebih tinggi dari bentuk arch circular (242 kN), bentuk ellip (72 kN) dan bentuk segitiga (41 kN). Hal ini mengindikasikan keefektifan teknik pencarian bentuk bila diterapkan dalam perancangan struktur-struktur ruang.

Tabel 6.1 Perbandingan besar tegangan *bending* maksimum dan kekuatan *buckling* berbagai model struktur.

Model	Tegangan <i>Bending</i> Maksimum		Kekuatan <i>Buckling</i> (kN)
	Awal ( $\text{kN/cm}^2$ )	TPB ( $\text{kN/cm}^2$ )	
Segitiga	0.640712	0.00478735	41
Ellip	0.265232	0.00478735	72
<i>Arch Circular</i>	0.0238761	0.00478735	242
<i>Arch Hasil Optimasi</i>			312

3. Salah satu kesulitan yang ditemui dalam teknik pencarian bentuk adalah besarnya faktor  $\alpha$  dan FK yang diasumsikan pada awal perhitungan sangat mempengaruhi nilai tegangan akhir. Untuk itu pencarian harga parameter-

parameter tersebut yang paling sesuai untuk perhitungan sangat disarankan.

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini cukup membantu dalam perancangan struktur ketika dibebani secara vertikal, seperti akibat berat sendiri atau beban luar vertikal. Penelitian lanjutan untuk melihat keefektifan teknik pencarian bentuk terhadap struktur yang mengalami pembebanan secara horizontal, seperti beban angin atau gempa, perlu dilakukan.

## DAFTAR PUSTAKA

- /1/ **Architectural Institute of Japan.**  
*Dome Structures in Japan – Recent Advances in Structural Engineering*,  
Maruzen, Tokyo, 2004.
- /2/ **Bletzinger, K.U. , Ramm, E.**  
*Form Finding of Shells by Structural Optimization*,, Engineering with  
Computers,  
Vol. 9, pp.27-35, 1993.
- /4/ **J. S. Brew. , W. J. Lewis.**  
*Free Hanging Membrane Model for Shell Structures*, International Journal  
for Numerical Methods in Engineering,  
Vol. 71, pp. 1513-1533, 2007.
- /5/ **Kato, S. , Satria, E. , Nakazawa, S.**  
*Buckling Analysis of Two-way Single Layer lattice Dome with Nodal  
Eccentricity*, Proc. of IASS,  
Venice-Italy, pp. 187-188, 2007.
- /6/ **Kato, S. , T Yamashita. , S Nakazawa. , Y Kim. , A Fujibayashi.**  
*Analysis Based Evaluation for Buckling Loads of Two-way Elliptic  
Paraboloidal Single Layer Lattice Domes*,  
Journal of Constructional Steel Research Volume 93(9), pp1219-1227  
,2007.
- /7/ **Narayanan, S.**  
*Space Structures: Principles and Practice*,  
Multi-Science Pub. Co. Ltd, UK, 2006.
- /8/ **Nawar, Novwan.**  
*Optimasi Struktur dengan SUMT (Sequential Unconstrained Minimization  
Technique)*,  
Tugas Akhir Teknik mesin Universita Andalas, 1988.
- /9/ **NN.**  
*Compaq Visual Fortran Professional Edition for Win 32 x85 System  
Version 6.6A*,  
Compaq Computer Corporation, Texas, 1999
- /10/ **Paz, Mario.**  
*Dinamika Struktur Teori dan perhitungan*,  
Erlangga, Jakarta, 1987.
- /11/ **P. Beer, Ferdinand. , Jhonson, Jr, E. Russel. , T. Dewof, Jhon.**  
*Mechanic Of material* ,  
McGraw-Hill Companies, Inc, New York, 2004.

- /12/ **Ramm, E. , Kemmler, R. , Schwarz, S.**  
*Form Finding and Optimization of Shell Structures*, In Proc. Of the Fourth International Colloquium on Computation of Shell and Spatial Structures (IASS-IACM 2000),  
Papadrakakis, M. et. Al. (eds), ISASR-NTUA, Athens, 2000.
- /13/ **Ramm, E; Mehlorn, G.**  
*On Shape Finding Methods and Ultimate Load Analyses of Reinforced Concrete Shells*  
Engineering Structures, Vol.13, pp.178-198, 1991.
- /14/ **Ramm, E. , Wall, W. A.**  
*Shell Structures – A Sensitive Interrelation between Physics and Numerics*,  
International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 60(1),  
pp. 381-427, 2004.
- /15/ **Satria, E. , Kato, S. , Nakazawa, S. , Kakuda, D.**  
*Buckling Behavior of Two-way Single Layer lattice Dome with Nodal Eccentricity*,  
Journal Structural Engineering, Vol. 54B, pp. 679-692, 2008.
- /16/ **Shomura, M.**  
*Linear Eigenvalue Analysis Or Frame Structure Considering Buckling Of Beam And Elasto-Plasticity Of Spring*,  
Fortran Program, 1992.