

PANDANGAN TEORITIK RANCANGAN KUBAH GEODESIK DENGAN METODA DUA DIMENSIONAL

Huthudi

Staf Pengajar Jurusan Teknik Arsitektur Institut Teknologi Nasional - Bandung

Bambang Subekti

Staf Pengajar Jurusan Teknik Arsitektur Institut Teknologi Nasional – Bandung
Email: ambang@itenas.ac.id

ABSTRAK

Robert Buckminster Fuller adalah pemerhati dan peneliti ulung kubah. Banyak inovasi yang dihasilkannya, salah satunya yang terkenal adalah kubah geodesik. Dengan kubah geodesik ini, R.B. Fuller dapat melampaui batas, barrier, yang bertahan selama pertengahan abad ke-19, yang dipegang oleh kubah Pantheon, hasil karya kaisar Hadrian pada tahun 123 M. Konsep dasar yang dipakai pada kubah geodesik adalah Icosahedron yang ditemukan oleh Plato 427–348 SM, seorang filosof dan lingkaran besar temuan dari Euclid 323–285 SM seorang ahli matematika. Icosahedron planar dijadikan icosahedron spherik. Dengan kemahirannya icosahedron spherik ini dibagi dalam beberapa bagian, yang dinamakannya frekuensi hingga membentuk tembereng. Jika ke 20 icosaface spherik ini diberlakukan dengan pembagian yang sama, maka akan terdapat suatu rangkaian kerangka batang, yang terdiri dari elemen batang lurus. Dalam tulisan ini ingin dicoba membahas kerangka batang ini dengan pendekatan 2 dimensional.

Kata kunci: icosahedron planar, icosavertex spherik, bentuk 2 dimensi, frekuensi.

ABSTRACT

Robert Buckminster Fuller, a well known researcher, creates many inventions about the dome. With his geodesic dome, R.B. Fuller can skip over the barrier which last in the 19th century, by the Pantheon dome, designs by Caesar Hadrian in the year 123 AD. The concept, basic thought of the geodesic dome, is Icosahedron, invented by a phylosoof Plato 427 – 348 BC, and the great Circle, invented by Euclid 323 – 285 BC., The most famous mathematician of the world. Planar icosahedron became a spherical icosahedron devided into some partition, called frequency that create a straight bar. If the whole 20 spherical icosaface devided in the same way, the result is a frame structure, skelleton, that consist of straight elemen, or a straight bar. This paper will try to solve the frame structure from the side of two dimensional points of view.

Keywords: Planar Icosahedron, spherical icosahedron, 2 dimensional shape, frequency.

PENDAHULUAN

Robert Buckminster Fuller adalah seorang Amerika pemerhati dan peneliti ulung mengenai struktur kubah. Banyak temuan atau inovasi mengenai kubah yang dihasilkannya. Salah satunya adalah temuan kubah geodesik yang mendapat pengakuan berupa hak paten yang dikeluarkan oleh : (1) U.S. Patent-2.682.225, (2) Application- December 12, 1951 dan (3) Patented – June 29, 1954.

Kubah geodesiknya yang pertama, didirikan di Honolulu, Hawaii, yang mempunyai bentang lebar 44 m. Sama seperti bentang lebar kubah Pantheon dan kubah Katedral St. Peter di Roma, Italia. Kedua kubah ini memakai bahan penunjang batu, bata dan plesteran, *masonry*, sedangkan kubah geodesik memakai bahan penunjang struktur dari bahan baja. Jika dibandingkan kubah geodesik dengan kedua

kubah sebelumnya dapat dipastikan bobot mati akan lebih rendah/lebih ringan. Kedua kubah di atas diperkirakan berbobot mati 30.000 ton, sedangkan kubah geodesik mempunyai bobot mati hanya 3000 ton. Suatu prestasi yang mengagumkan jika ditinjau dari beberapa macam aspek yang muncul dari kubah geodesik ini, terutama mengenai reduksi bobot mati, kemudahan dalam pelaksanaan, aspek struktural dan arsitektural yang indah. Seperti kita sama ketahui bahwa suatu struktur berkaitan erat dengan bahan penunjang struktur tersebut. Pada abad ke-19 terjadi suatu revolusi industri yang memberikan hasil yang luar biasa, khususnya untuk bidang pembangunan. Revolusi industri terjadi karena perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi maju. Hasil revolusi industri ini membawa serta perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi berupa bahan bangunan. Dengan hasil ini maka khasanah bahan bangunan

yang telah ada seperti bahan alami, batu, kayu, bata dan beton ditambah dengan bahan bangunan baru yaitu : besi dan baja.

Bertambahnya khasanah bahan bangunan ini membuka peluang yang seakan-akan memicu dan memacu perkembangan struktur. Arsitek dan perancang seakan berlomba untuk mengadakan temuan baru (inovasi) dalam perancangan bangunan yang lebih besar, baik secara horizontal maupun vertikal. Struktur kubah yang banyak digemari oleh arsitek dan perancang sejak abad pertama seakan-akan muncul dan merebak ke berbagai kota dan negara-negara, seperti: Inggris, Perancis, Amerika dan sebagainya. Perkembangan struktur pada umumnya, khususnya struktur kubah mengalami kemajuan yang pesat setelah perang dunia kedua berakhir. Pada perang dunia kedua banyak kota telah hancur. Dengan demikian banyak bangunan pengganti yang harus didirikan dengan cara cepat dan memerlukan suatu teknologi membangun yang cepat pula. Dari catatan sejarah, bangunan dengan struktur kubah, banyak bermunculan seperti: Kubah Schwedler, kubah Kiewitt, kubah Lamela, kubah Stephane Du Chateau – SDC. Kubah geodesik, kubah Pentagon, Hexagon dan sebagainya.

Kubah geodesik merupakan kubah yang menarik, selain penampilan arsitekturalnya yang unik, aspek strukturalnya mempunyai irama yang sejuk dan ringan serta aspek pelaksanaannya yang mudah dan sederhana. Maksud dan tujuan dari tulisan ini, adalah akan membahas, serta meneliti aspek teori dan perkembangan, aspek struktural dan aspek pelaksanaannya dari kubah geodesik, dengan metoda 2 dimensional.

LANDASAN TEORI

R. Buckminster Fuller membandingkan kubah Pantheon dan kubah Katedral St. Peter di Roma dengan kubah pertamanya yang dibangun di Honolulu. Menurut perkiraannya kedua kubah yang pertama mempunyai bobot mati sebesar 30.000 ton. Sedangkan kubah geodesiknya mempunyai bobot hanya 3000 ton saja. Suatu reduksi bobot mati yang luar biasa. Reduksi bobot ini sesuai dengan idaman yang didambakan para arsitek dan perancang yang selalu berusaha mengurangi bobot mati bangunannya, dematerialisasi, tanpa mengurangi kekuatan dan kekokohnya. R.B. Fuller dengan kubah geodesiknya telah mencapai kedua hal tersebut, ditambah pula kemudahan dalam pelaksanaan. Kubah geodesiknya ini diyakini benar akan kekuatan, kekokohan serta kekompakannya. Menurutnya, jika saja terjadi gempa bumi di kota Roma, maka kedua

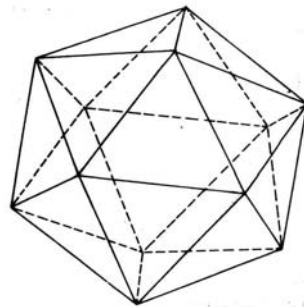
kubah tersebut akan segera roboh, *collapse*. Akan tetapi tidak demikian halnya dengan kubah geodesik. Kubah ini akan tetap berdiri dengan kokoh dan kuat. Pada perang dunia kedua yang lalu, banyak terjadi perusakan oleh bom, kota-kota dari kedua belah pihak yang berperang banyak yang hancur, menjadi rata dengan tanah. Bangunan beton segera roboh akibat pemboman ini, akan tetapi bangunan yang mempergunakan bahan penunjang struktur baja akan tetap berdiri. Dengan segala hormat kepada orang yang menderita akibat pemboman ini, seorang perancang terkenal mengatakan bahwa perang dunia kedua telah memberikan pengalaman berharga, karena telah memberikan suatu bentuk 'laboratorium' besar dengan skala 1:1. Dari pengamatan ini juga dapat dilihat bahkan dibuktikan bahwa bangunan dengan bahan penunjang struktur baja yang terkena bom dapat berdiri dengan kokoh. Sebagai contoh bangunan gereja di kota Berlin dan bangunan kubah di Hiroshima Jepang tidak roboh masih kuat berdiri walaupun dapat dikatakan kota telah rata dengan tanah. Salah satu konsep dari R.B. Fuller ialah icosahedron. Icosahedron atau bidang 20 ini terdiri dari 20 segitiga sama sisi yang dapat diukur secara matematika, sedangkan bentuk segitiga seperti umum ketahui merupakan suatu bentuk yang kokoh dan kuat serta stabil.

Plato 427–248 SM menemukan 5 unsur polyhedra yang amat kompak, temuan ini dinamakan sebagai 5 kekompakkan Plato, *Platonic Solid*. Kelima unsur tersebut adalah sebagai berikut:

No.	Nama	Bidang
1	Tetrahedron	4
2	Octahedron	8
3	Icosahedron	20
4	Hexahedron	6
5	Dodecahedron	12

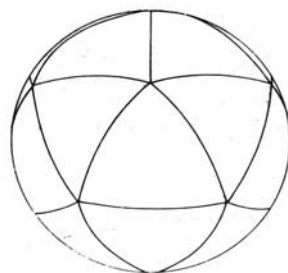
R.B. Fuller, dalam salah satu konsepnya merujuk pada icosahedron ini. Karena menurutnya bumi, *sphere*, asal mulanya merupakan bentuk icosahedron, bukan terbentuk dari lingkaran vertikal (garis meridian) dan lingkaran horizontal (garis lintang) seperti menurut geometri secara umum. Jika icosahedron planar ini digelembungkan pada bulatan, *sphere*, maka akan menjadi icosahedron spherik. Icosahedron spherik ini berkaitan erat dengan lingkaran besar, yaitu suatu lingkaran yang mempunyai satu ukuran yang sama, dan dapat didirikan di sembarang tempat dan arah pada sebuah bulatan, bola. Kedua unsur: icosahedron dan lingkaran besar ini merupakan konsep, dasar pemikiran R.B. Fuller untuk kubah geodesiknya. Gambar di bawah ini

menunjukkan icosahedron planar dan icosahedron spherik.



bidang dua puluh

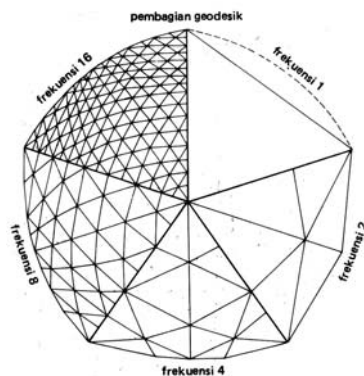
Gambar 1. Icosahedron Planar



bidang dua puluh
diproyeksikan pada bola

Gambar 2. Icosahedron Spherik

Selanjutnya dapat pula dilihat pada kedua gambar tersebut bahwa segitiga sama sisi planar, dapat dijadikan segitiga sama sisi spherik. Berkat ketekunan, ketelitian dan kemahirannya, dari kedua segitiga sama sisi, planar dan spherik ini, dapat ditemukan struktur berbentuk rangka ruang bulat, untuk kubah geodesiknya. Rangka ruang ini dapat terjadi dengan cara membagi sisi segitiga spherik menjadi bagian yang lebih pendek. Pembagian ini dinamakan frekuensi, besaran frekuensi ini dapat diatur dan disesuaikan dengan kebutuhan rancangan masing-masing. Sebagai contoh gambar di bawah ini menunjukkan kemungkinan dari banyaknya pembagian atau besarnya frekuensi yang dapat dibuat.



Gambar 3. Beberapa kemungkinan besarnya frekuensi

PENDEKATAN METODA 2 DIMENSIONAL

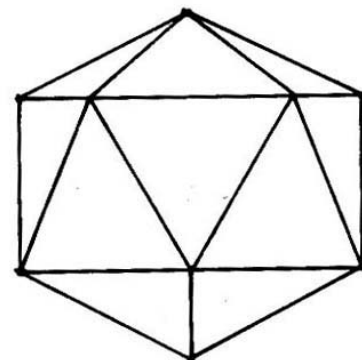
Icosahedron mempunyai bentuk 3 dimensional. Bentuk ini kalau diurai dan disusun sedemikian rupa, akan diperoleh bentuk 2 dimensional yang mempunyai pola yang menarik. Dalam penelitian disini akan dilakukan suatu proses awal berupa materi 2 dimensional. Proses ini dilakukan dengan maksud untuk mendapatkan suatu alur, yang runtut dan berkesinambungan. Sebagai pokok pertama diambil salah satu konsep kubah geodesik dari R.B, Fuller, yaitu icosahedron. Icosahedron (bidang 20) terdiri dari:

- 20 Buah segitiga sama sisi, masing-masing berupa bidang datar, yang merupakan muka icosahedron atau icosaface
- 12 Puncak atau icosacup atau icosavertex yang masing-masing terdiri dari 5 segitiga sama sisi

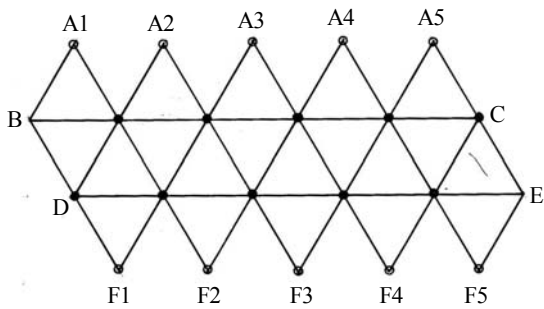
Kalau diperhatikan secara seksama ke 12 icosavertex dalam sebuah icosahedron, seakan-akan mendominasi bentuk icosahedron. Dari sudut manapun dipandang maka selalu dapat dilihat dengan jelas icosavertex ini dengan kelima segitiga sama sisinya. Icosahedron ini dapat diurai dan disusun menjadi suatu bidang datar 2 dimensional dengan cara merebahkan ke 20 bidang segitiga sama sisi. Banyak cara yang dapat dilakukan untuk penguraian ini. Akan tetapi dalam tulisan ini akan ditampilkan 2 macam uraian saja.

Uraian Pertama

Icosahedron dapat diurai menjadi bagian polygon datar yang berjumlah 20 buah segitiga sama sisi. Kemudian disusun sedemikian rupa hingga membentuk suatu pola yang teratur. Dengan pola ini, dapat dengan mudah ditelusuri bentuk icosahedron tersebut. Jumlah komponen berupa segitiga sama sisi dan puncak icosahedron, dapat dihitung dengan jelas.



Gambar 4. Icosahedron Planar



Gambar 5. Icosahedron, 2 dimensional, diurai

Dari icosahedron 2 dimensional ini dapat dikembalikan dijadikan icosahedron planar. Proses pembalikan dilakukan sebagai berikut:

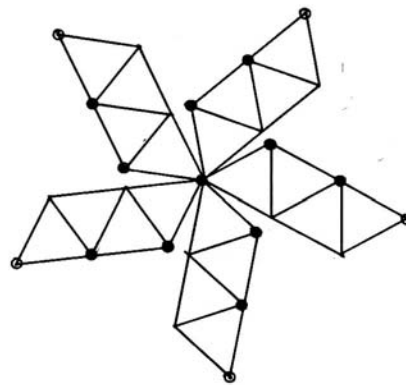
- Ke 5 (lima) sudut lancip pada 5 segitiga sama sisi bagian atas disatukan (A1-5). Alas segitiganya pun disatukan (B-C), sehingga menjadi puncak dari icosahedron, icosavertex.
- Ke 5 (lima) sudut lancip yang berada di bagian bawah disatukan (F1-5), serta alas segitiganya disatukan (D-E).

Dengan melakukan kedua hal ini, maka ke-10 segitiga sama sisi, yang ada pada bagian tengah akan menjadi satu pula dengan cara bergerak secara melingkar. Dengan penyatuan ini, maka icosahedron telah terbentuk kembali.

Uraian ke Dua

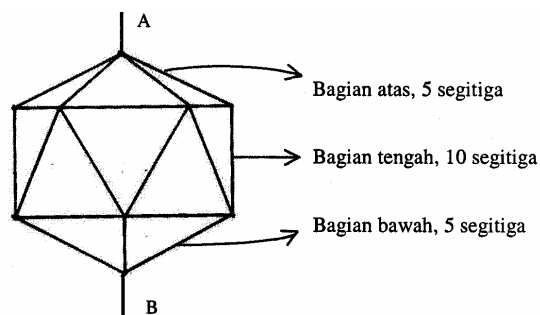
Icosahedron ini dapat pula diurai dengan cara lain. Hasil bentuk uraian 2 dimensional ini, tidak kalah indah dan kejelasannya. Suatu keteraturan yang juga memudahkan penyusunan kembali kepada bentuk icosahedron. Penguraian di sini akan lebih mudah dimengerti, karena bagian tengah dari gambar ini, secara jelas dapat dilihat bentuk icosavertex dengan ke-5 segitiga sama sisinya. Titik puncak bagian atas sudah menyatu. Kemudian sisi segitiga sama sisi yang akan merupakan dasar icosavertex berbentuk pentagon dihubungkan satu sama lain dengan 4 segitiga samasisi lainnya. Dengan demikian jumlah 20 buah segitiga sama sisi telah tercapai. Dan ke-12 puncak dari icosahedron dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

Pengujian dan penelitian kembali dari bentuk 2 dimensional ke bentuk icosahedron, dapat dilakukan sebagai berikut: Dimulai dari bagian tengah, yang telah ada titik puncak bersamanya. Ke-5 segitiga sama sisi yang terkait dengan titik puncak ini disatukan, hingga menjadi bentuk icosavertex. Bentuk ini menjadi bagian pertama yang diletakkan pada bagian atas icosahedron. Kemudian disusul dengan menyatukan bagian lanjutan dari sisi icosavertex. Dengan melakukan penyatuan ini, yaitu bagian tengah dari icosahedron dan icosavertex bagian bawah, maka icosahedron pun terbentuk.

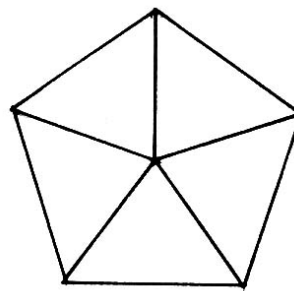


Gambar 6. Icosahedron 2 diimensional, direbahkan

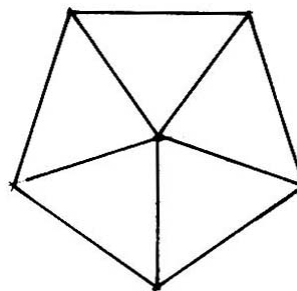
Icosahedron seperti dikatakan di atas terdiri dari 20 segitiga sama sisi dan 12 puncak, yang masing-masing terdiri dari 5 segitiga sama sisi, seperti gambar di bawah ini.



Gambar 7. Tampak Depan Icosahedron



Gambar 8. Tampak Atas Icosahedron

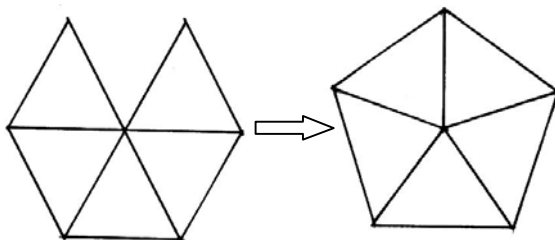


Gambar 9. Tampak bawah Icosahedron

Sumbu A-B ini dapat ditempatkan pada posisi yang sembarang dengan memperhatikan tata letak dari puncak icosavertex bagian atas dengan bagian bawah yang sesuai. Pada gambar di atas ini dapat dilihat bahwa icosavertex dengan ke-5 segitiga sama sisinya, merupakan faktor yang dominan pada icosahedron. Proses icosavertex dari bidang 2 dimensional, adalah seperti gambar di bawah ini:



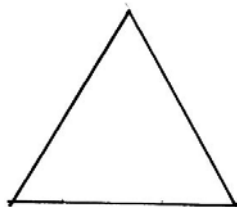
Gambar 10. Tampak Icosavertex



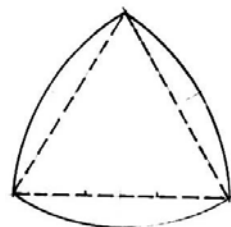
Gambar 11. 5 Segitiga sama sisi

Gambar 12. Proyeksi dari 5 segitiga samasisi Icosavertex

Icosahedron yang merupakan salah satu dari kekompakan Plato, dinamakan pula sebagai icosavertex dengan 5 segitiga sebagai kerucut dengan alas berbentuk pentagon. Sebagai kelanjutannya, akan terdapat segitiga sama sisi sferik:



Gambar 13. Segitiga sama sisi planar



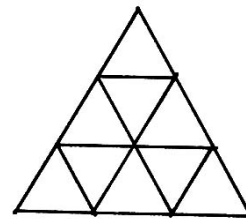
Gambar 14. Segitiga sama sisi sferik

Dari temuan ini, selanjutnya berkembang. Dengan materi seperti gambar di atas ini, R.B. Fuller menemukan inovasinya mengenai kubah geodesik. Menurut teori geometri sferik yang ditemukan oleh Euclid, seorang ahli matematika yang masyur:

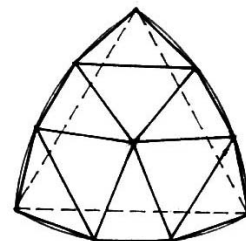
Bumi mempunyai bentuk lingkaran besar. Untuk menentukan satu tempat di permukaan

bumi, dapat dilakukan dengan latitude dan longitude. Penentuan ini dapat dilakukan dengan garis lurus.

R.B. Fuller dalam konsepnya memakai lingkaran besar, selain icosahedron. Kedua konsep ini dipadukan dan tidak terpisahkan. Sebagai temuan yang prima, sisi segitiga sama sisi, yang mempunyai garis lengkung, dibagi menjadi beberapa bagian yang disebutnya sebagai frekuensi. Bila kedua titik bagi ini dihubungkan dengan sebuah garis lurus, maka akan menjadi tembereng. Hasil yang didapat adalah sebuah garis lurus, dengan kedua titiknya tetap berada di garis lengkung segitiga sama sisi sferik. Gambar di bawah ini menerangkan secara skematis dan 2 dimensional mengenai pembagian tersebut. Sebagai contoh diambil frekuensi 3.

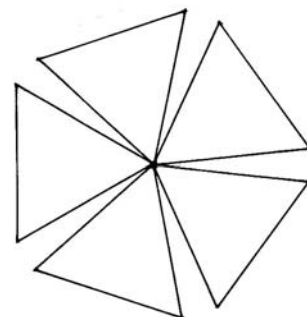


Gambar 15. Segitiga sama sisi planar dengan frekuensi 3.

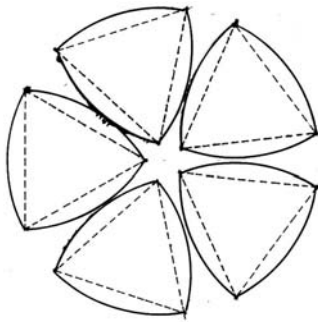


Gambar 16. Segitiga sama sisi sferik dengan frekuensi 3.

Icosahedron mempunyai 20 segitiga sama sisi dan 12 icosavertex. Secara skematis dan 2 dimensional icosavertex ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

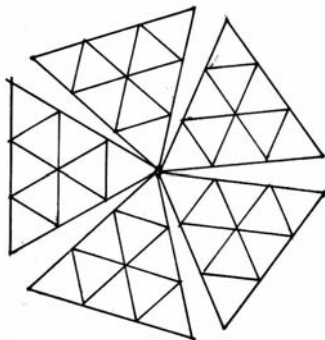


Gambar 17. Icosavertex Planar

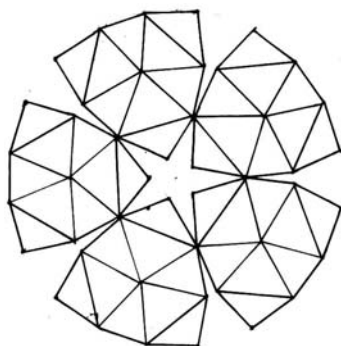


Gambar 18. Icosavertex Sferik

Sisi segitiga sama sisi sferik ini dibagi menjadi 3 bagian atau frekuensi 3. Tiap titik potongan dihubungkan dengan garis lurus yang menjadi elemen batang. Jika elemen batang ini dirampungkan dihubungkan satu dengan lainnya sedemikian rupa maka akan terbentuk rangka batang seperti urutan gambar 19 dan gambar 20.



Gambar 19. Rangka batang icosavertex planar dengan frekuensi 3



Gambar 20. Rangka batang icosavertex sferik dengan frekuensi 3

Dalam sebuah icosavertex terdapat 5 buah segitiga sferik sesuai gambar rangka batang. Pada gambar di atas ini dibuat susunan rangka batang pada sebuah puncak icosaface. Penelitian kemudian dapat dilanjutkan dengan membuat kubah geodesik yang terdiri dari elemen batang lurus.

KESIMPULAN

Kubah geodesik mempunyai penampilan sebagai suatu bulatan yang terdiri dari serangkaian rangka batang. Jika diperhatikan secara seksama bulatan rangka batang ini terdiri dari semua elemen batang yang lurus. Bukan batang lengkung seperti telah ditulis di atas, R.B. Fuller memakai 2 unsur untuk konsepnya, yaitu icosahedron dari kekompakan Plato dan lingkaran besar dari Euclid. Kubah geodesik ini dapat diurai menjadi bentuk 2 dimensional, seperti pembahasan di atas. Dari bentuk icosahedron ini, dapat ditelusuri dan dijelaskan, mengenai keberadaan icosavertex yang berperan sangat dominan. Dapat dikatakan dengan pasti tanpa adanya icosavertex ini kubah geodesik tidak akan terbentuk. Sebagai contoh, bola sepak, tanpa adanya 12 icosavertex, sferik atau pentagon sferik, maka bulatan bola pun tidak mungkin terbentuk. Dalam pembahasan disini, dengan memakai metoda 2 dimensional telah dijelaskan secara runtut dan berkesinambungan, mulai dari segitiga sama sisi planar, menjadi segitiga sama sisi sferik. Dari icosavertex planar menjadi icosavertex sferik. Kemudian penyusunan rangka batang dengan frekuensi 3, dari rangka batang planar, menjadi susunan rangka batang sferik pada segitiga sama sisi. Kemudian dapat dilanjutkan menjadi susunan rangka batang pada icosavertex. Sebagai akhir, jika ke 20 muka, icosaface telah dirampungkan, kemudian dirangkai satu dengan lainnya, maka kubah geodesik dapat terwujud. Jika diperhatikan dari dekat, terlihat dengan jelas rangka batang yang lurus, dan mempunyai akibat pada bulatan yang tidak mulus, *smooth*. Dengan cara memperbesar angka frekuensi, bentuk bulatan akan lebih dapat dicapai. Walaupun terdiri dari elemen garis lurus yang membentuk bulatan ini, sepintas kilas penampilan/impresi bulatan bola dapat tercapai.

DAFTAR PUSTAKA

- Chilton, John., *Space Grid Structures*, Architectural Press An Imprint of Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8 DP, Great Britain, 2000.
- Cowan, H. J., *Structural Systems*, Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1980.
- Fuller, R. Buckminster., *Invention of Fuller*, US Patent, 1954.

Gabriel, J. F., *Beyond The Cube The Architecture of Space Frame and Polyhedra*, John Willey & Sons, Inc., New York, 1997.

Huthudi, *Konstruksi Ruang Baja* (Terjemahan), Penerbit ITB, Bandung, 1988.