



**KONSTRUKSI TIANG GANTUNGAN BAJU DENGAN
PENGABUNGAN HASIL DEFORMASI BENDA GEOMETRI RUANG
DAN KURVA BEZIER**

SKRIPSI

Oleh

Insanjaya Purnama

NIM 181810101096

JURUSAN MATEMATIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS JEMBER

2022



**KONSTRUKSI TIANG GANTUNGAN BAJU DENGAN
PENGABUNGAN HASIL DEFORMASI BENDA GEOMETRI RUANG
DAN KURVA BEZIER**

SKRIPSI

diajukan guna memenuhi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Matematika (S1) dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh

Insanjaya Purnama

NIM 181810101096

JURUSAN MATEMATIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS JEMBER

2022

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, dengan segala puji syukur kehadiran Allah SWT, skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua tercinta, kepada Almarhummah Ibu saya Indariati dan Bapak saya Purnomo, terimakasih untuk semua do'a perhatian, dukungan dan kasih sayang yang telah diberikan.
2. Kakak saya Imahendra Purnama yang selalu memberikan dukungan, motivasi, serta nasihat baik.
3. Guru-guru dan dosen sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah memberikan ilmu yang luar biasa kepada saya.
4. Sahabat saya Wildan Purnama Adi dan Kuswoyo yang senantiasa memberikan dukungan selama saya kuliah.
5. *The one and only my special person* Febia Zein Aziza yang selalu memberikan dukungan, semangat, menemani, dan kasih sayang kepada saya meskipun terkadang sedikit bawel.
6. Teman-teman "ARITHMETIC" 2018 dan "HIMATIKA Geokompstat" yang tidak dapat disebut satu persatu, terimakasih atas dukungannya.
7. Almamater Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember, SMA Negeri 1 Bangorejo, SMP Negeri 1 Bangorejo, dan SD Negeri 7 Kebondalem.

MOTTO

“Perbaikilah dirimu itu dan belajarlh, dan bahagiakan Ayah dan Ibu yang telah melahirkanmu, menjagamu dan membesarkanmu. Karena kebahagiaan itu pun merupakan kebahagiaan untuk dirimu.”

(Outlook III)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Insanjaya Purnama

NIM : 181810101096

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Konstruksi Tiang Gantungan Baju dengan Penggabungan Hasil Deformasi Benda Geometri Ruang dan Kurva Bezier” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, September 2022

Yang menyatakan,

Insanjaya Purnama
NIM 181810101096

SKRIPSI

**KONSTRUKSI TIANG GANTUNGAN BAJU DENGAN
PENGABUNGAN HASIL DEFORMASI BENDA GEOMETRI RUANG
DAN KURVA BEZIER**



oleh
Insanjaya Purnama
NIM 181810101096

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Firdaus Ubaidillah, S.Si., M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Bagus Juliyanto, S.Si., M.Si.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Konstruksi Tiang Gantungan Baju dengan Penggabungan Hasil Deformasi Benda Geometri Ruang dan Kurva Bezier” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

Dr. Firdaus Ubaidillah, S.Si., M.Si.
NIP 197006061998031003

Bagus Juliyanto, S.Si., M.Si.
NIP 198007022003121001

Anggota II,

Anggota III,

Abduh Riski, S.Si., M.Si.
NIP 199004062015041001

Drs. Moh. Hasan, M.Sc., Ph. D.
NIP 196404041988021001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Jember

Drs. Achmad Sjaifullah, M.Sc., Ph.D.
NIP. 195910091986021001

RINGKASAN

Konstruksi Tiang Gantungan Baju dengan Penggabungan Hasil Deformasi Benda Geometri Ruang dan Kurva Bezier; Insanjaya Purnama; 181810101096; 2022; 94 halaman; Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Desain dari tiang gantungan baju harus dibuat unik dan simpel agar terlihat rapi. Desain tiang gantungan baju ini berkaitan dengan geometri yaitu terkait perbedaan ukuran, jumlah komponen pembangun, serta bentuk-bentuk komponen pembangunnya. Komponen-komponen pembangun tiang gantungan baju dapat dikategorikan menjadi lima bagian yaitu bagian alas, tiang, gantungan atas, gantungan bawah, dan mahkota.

Penelitian desain tiang gantungan baju ini dibagi menjadi dua tahap. Tahap pertama yaitu modelisasi komponen-komponen tiang gantungan baju dengan penggunaan deformasi benda geometri ruang dan kurva Bezier. Benda geometri ruang yang digunakan adalah prisma segi delapan, tabung, torus, bola dan lingkaran. Kurva Bezier yang digunakan adalah kurva Bezier berderajat dua dan tiga. Tahap kedua yaitu menggabungkan komponen-komponen tiang gantungan baju yang telah diperoleh dari hasil deformasi. Penggabungan komponen tiang gantungan baju dilakukan dengan membagi segmen pada sumbu-z.

Hasil penelitian ini yaitu mendapatkan prosedur modelisasi tiang gantungan baju menggunakan teknik deformasi. Masing-masing dari komponen tiang gantungan baju menghasilkan beberapa model. Pada bagian alas menghasilkan dua model, pada bagian tiang menghasilkan tiga model, pada bagian mahkota menghasilkan tiga model, pada bagian gantungan atas menghasilkan dua model dan pada bagian gantungan bawah menghasilkan dua model. Dari semua hasil pada bagian-bagian komponen tiang maka menghasilkan 72 variasi yang berbeda dari penggabungan komponen tiang gantungan baju dengan bantuan *software* Maple 18.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Konstruksi Tiang Gantungan Baju dengan Penggabungan Hasil Deformasi Benda Geometri Ruang dan Kurva Bezier”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusun skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Firdaus Ubaidillah, S.Si., M.Si. dan Bagus Juliyanto, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan serta meluangkan waktu dan pikiran dalam penyempurnaan skripsi ini.
2. Abduh Riski, S.Si., M.Si. dan Drs. Moh. Hasan, M.Sc., Ph. D. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini.
3. Semua dosen dan staf Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember yang telah memberikan banyak ilmu.
4. Seluruh teman Angkatan, kakak tingkat dan adik tingkat yang telah memberikan dukungan dan pengalamannya selama perkuliahan.
5. Semua pihak yang telah terlibat yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu jika ada kritikan dan saran sifatnya membangun akan penulis terima. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, September 2022

Insanjaya Purnama

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
PERSEMBAHAN.....	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penyajian Segmen Garis di R^3	5
2.2 Penyajian Lingkaran.....	6
2.3 Penyajian Benda-benda Geometri Ruang.....	7
2.3.1 Penyajian Prisma Segi Delapan	7
2.3.2 Penyajian Tabung.....	10
2.3.3 Penyajian Torus.....	12
2.3.4 Penyajian Bola	12
2.4 Transformasi Affine.....	14
2.4.1 Rotasi.....	14
2.4.2 Translasi di R^3	15
2.5 Penyajian Interpolasi	15
2.6 Permukaan Putar	16
2.7 Penyajian Kurva Bezier	17
2.8 Deformasi	19

2.9 Konstruksi Objek Geometri pada Program Maple 18	20
2.9.1 Penyajian Segmen Garis	20
2.9.2 Penyajian Tabung	20
2.9.3 Penyajian Bola	21
2.9.4 Penyajian Kurva Bezier	21
2.9.5 Penyajian Permukaan Bezier	22
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Data Penelitian	23
3.2 Langkah-langkah Penelitian	25
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Modelisasi Komponen Penyusun Tiang Gantungan Baju	28
4.1.1 Modelisasi Alas Tiang	28
4.1.2 Modelisasi Badan Tiang	34
4.1.3 Modelisasi Mahkota Tiang	43
4.1.4 Modelisasi Gantungan Atas	47
4.1.5 Modelisasi Bagian Gantungan Bawah	59
4.2 Pembahasan	67
4.2.1 Penggabungan Komponen dengan Badan Tiang Model 1	68
4.2.2 Penggabungan Komponen dengan Badan Tiang Model 2	72
4.2.3 Penggabungan Komponen dengan Badan Tiang Model 3	76
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	81
5.1 Kesimpulan	81
5.2 Saran	81
DAFTAR PUSTAKA	82
LAMPIRAN	84
ARTIKEL	95

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1.1 Contoh tiang gantungan baju beserta bagian-bagiannya.....	2
2.1 Penyajian segmen garis di ruang.....	5
2.2 Penyajian lingkaran di ruang.....	7
2.3 Penyajian prisma dan bagiannya.....	8
2.4 Penyajian prisma segidelapan beraturan.....	10
2.5 Visualisasi tabung.....	10
2.6 Visualisasi tabung.....	12
2.7 Penyajian torus.....	12
2.8 Penyajian bola dengan pusat $Q(a, b, c)$ dan jari-jari r	13
2.9 Visualisasi keratin bola dengan pusat pada sumbu X, Y, Z	14
2.10 Contoh interpolasi.....	16
2.11 Permukaan putar.....	16
2.12 Permukaan putar kurva.....	18
2.13 Macam-macam Deformasi.....	19
2.14 Segmen garis.....	20
2.15 Tabung.....	21
2.16 Penyajian bola.....	21
2.17 Penyajian kurva Bezier.....	22
2.18 Permukaan Bezier.....	22
3.1 Model dan ukuran alas.....	23
3.2 Model dan ukuran tiang.....	24
3.3 Model dan ukuran mahkota tiang.....	24
3.4 Model gantungan atas.....	24
3.5 Model gantungan bawah.....	25
3.6 Diagram alir langkah penelitian.....	27
4.1 Alas tiang berbentuk tabung.....	29
4.2 Ilustrasi segi delapan.....	30
4.3 Alas tiang berbentuk prisma segi delapan.....	34
4.4 Ilustrasi segi delapan dengan titik kontrol deformasi.....	34
4.5 Badan tiang berbentuk prisma segi delapan.....	43
4.6 Mahkota tiang berbentuk bola.....	44

4.7 Mahkota tiang model kubah 1 lengkung.....	45
4.8 Mahkota tiang model kubah 2 lengkung.....	46
4.9 Bagian-bagian gantungan atas model 1.....	47
4.10 Gantungan atas model 1	52
4.11 Bagian gantungan atas model 2.....	53
4.12 Gantungan atas model 2	59
4.13 Bagian gantungan bawah model 1	59
4.14 Gantungan bawah model 1	63
4.15 Bagian gantungan bawah model 2	63
4.16 Gantungan bawah model 2.....	67
4.17 Tiang gantungan baju model 1-1-1	69
4.18 Tiang gantungan baju model 1-1-2	70
4.19 Tiang gantungan baju model 1-2-1	71
4.20 Tiang gantungan baju model 1-2-2	72
4.21 Tiang gantungan baju model 2-1-1	73
4.22 Tiang gantungan baju model 2-1-2	74
4.23 Tiang gantungan baju model 2-2-1	75
4.24 Tiang gantungan baju model 2-2-2	76
4.25 Tiang gantungan baju model 3-1-1	77
4.26 Tiang gantungan baju model 3-1-2	78
4.27 Tiang gantungan baju model 3-2-1	79
4.28 Tiang gantungan baju model 3-2-2	80

BAB 1. PENDAHULUAN

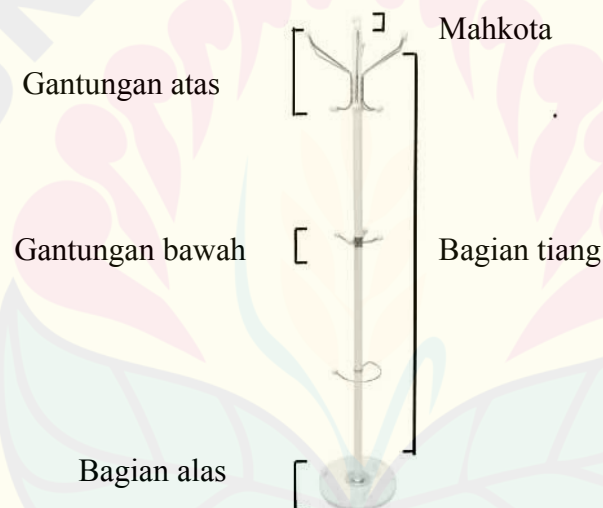
1.1 Latar Belakang

Geometri mulai dipelajari dari perspektif sintesis, sebagai suatu ilmu sejak zaman Euclid (300 SM) hingga abad 17 M (Stillwell, 2004). Sejumlah ide baru dalam matematika dikembangkan dan diterapkan dalam mempelajari geometri dengan beberapa revolusi. Prinsip dari pemersatu untuk mengklasifikasikan berbagai bentuk geometri. Konsep dari pemersatu klasifikasi tersebut adalah geometri transformasi yang berarti pemetaan satu-satu dengan menggunakan himpunan titik-titik sebagai masukan dan *returning points* sebagai keluaran. Transformasi-transformasi dapat dilihat sebagai penerapan pada objek-objek geometri yang biasa dikenal, misalnya garis, poligon, dan polihedra. Geometri affine merupakan suatu ruang affine sebagai himpunan dari beberapa titik dengan suatu transformasi.

Geometri merupakan struktur matematika yang menyangkut unsur dan relasi. Titik, garis, bidang, dan ruang merupakan sebuah unsur abstrak yang menjadi unsur utama dan dasar dalam geometri (Fuat, 2020). Salah satu objek dari geometri adalah kurva. Kurva memiliki berbagai jenis yang diantaranya adalah kurva Bezier dan kurva Hermit. Kurva Bezier merupakan garis yang dibentuk oleh dua titik dan dapat dilengkungkan melalui titik kontrol yang terdapat dalam titik-titik pembentukan kurva tersebut (Enterprise, 2017). Geometri mencakup panjang, luas, dan volume, sehingga pada tiang gantungan baju memiliki semua keterkaitan yang ada pada geometri.

Tiang gantungan baju digunakan untuk menempatkan baju yang sudah dipakai namun belum kotor agar tidak memakan tempat dan terlihat rapi tidak berantakan. Tiang gantungan baju biasa ditempatkan di pojok ruangan atau di dekat lemari baju. Seiring dengan berkembangnya teknologi dan pengetahuan, variasi dari tiang gantungan baju ini semakin banyak. Variasi tersebut meliputi dari bahan, ukuran, bentuk serta desain tiang yang unik. Pemilihan bahan harus diperhatikan agar tiang gantungan baju tidak mudah rusak dan kuat menahan beban tumpukan baju.

Desain dari tiang gantungan baju harus dibuat unik agar menarik perhatian pembeli dan dapat dengan mudah ditempatkan di sisi pojok ruangan. Desain tiang gantungan baju ini berkaitan dengan geometri yaitu terkait perbedaan ukuran, jumlah komponen pembangun, serta bentuk-bentuk komponen pembangunnya. Komponen-komponen pembangun tiang gantungan baju dapat dikategorikan menjadi lima bagian yaitu bagian tiang, alas, mahkota, gantungan atas dan gantungan bawah. Komponen-komponen pembangun tiang gantungan baju terbentuk dari benda-benda geometri dasar seperti prisma segi delapan, tabung, torus, bola, dan lingkaran (Gambar 1.1). Oleh karena itu, dapat dilakukan pengembangan modelisasi komponen-komponen tiang gantungan baju sehingga dihasilkan bentuk yang bervariasi.



Gambar 1.1 Contoh tiang gantungan baju beserta bagian-bagiannya

Beberapa penelitian yang telah dilakukan yaitu Kusno (2014) melakukan penelitian tentang konstruksi bentuk benda onyx dan marmer melalui teknik penggabungan beberapa permukaan putar Bezier. Dalam penelitiannya mendapatkan teknik hitung dan formula parametrik konstruksi komponen dasar benda onyx dan marmer serta kekontinuan penggabungan antar dua komponen benda putar yang berdekatan. Emeraldal (2018) melakukan penelitian tentang modelisasi tugu dengan penggabungan benda dasar geometri dan kurva Bezier.

Benda dasar geometri yang digunakan terdiri dari tabung, prisma segi empat, dan limas segi empat yang dideformasi dengan teknik dilantasi, pemotongan, pemutaran kurva, dan interpolasi. Sugianto (2018) melakukan penelitian tentang modelisasi tiang teras dengan menggunakan hasil deformasi prisma segi enam, tabung, dan bola. Teknik yang dilakukan adalah pemotongan, penggabungan, dan interpolasi dari benda geometri sehingga dihasilkan model tiang yang bervariasi. Putri (2018) melakukan penelitian tentang modelisasi piala. Dalam penelitiannya, piala dimodelisasi dengan menggunakan teknik deformasi prisma segi enam, deformasi tabung, dan deformasi kerucut dan kurva Bezier. Wahana, dkk (2020) melakukan penelitian tentang modelisasi handel pintu menggunakan kurva Bezier dan deformasi tabung. Triadi, dkk (2020) melakukan penelitian tentang modelisasi botol minum dengan mengaplikasikan kurva Bezier. Kurva Bezier yang digunakan berderajat kurang dari atau sama dengan enam.

Berdasarkan dari penelitian yang telah diuraikan di atas, pada penelitian ini akan dilakukan untuk modelisasi tiang gantungan baju dengan mengaplikasikan penggabungan hasil deformasi benda geometri ruang, dan teknik kurva Bezier. Tiang gantungan baju dibangkitkan menggunakan hasil deformasi bangun ruang berupa prisma segi delapan, tabung, torus, bola, dan lingkaran. Kurva Bezier yang digunakan adalah kurva Bezier yang berderajat kurang atau sama dengan 8.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang dijelaskan pada latar belakang, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana memodelisasi komponen-komponen tiang gantungan baju dengan teknik deformasi pada prisma segi delapan dan mengaplikasikan transformasi affine dan kurva Bezier untuk mendesain tiang gantungan baju yang bervariasi?
- b. Bagaimana visualisasi variasi model tiang gantungan baju dengan berbantuan komputer?

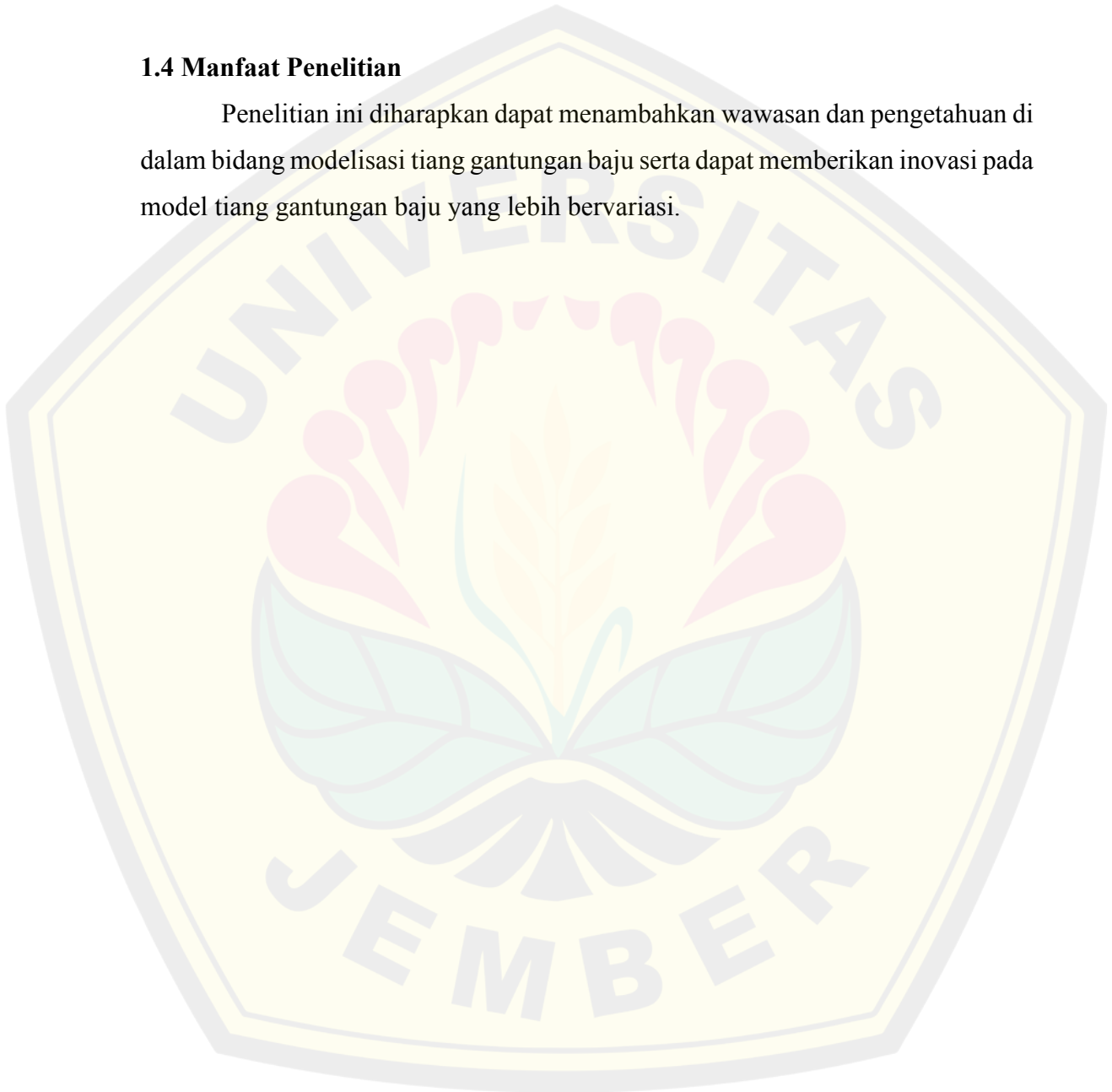
1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Memperoleh model tiang gantungan baju yang bervariasi
- b. Memperoleh visualisasi model tiang gantungan baju dengan bantuan komputer.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menambahkan wawasan dan pengetahuan di dalam bidang modelisasi tiang gantungan baju serta dapat memberikan inovasi pada model tiang gantungan baju yang lebih bervariasi.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

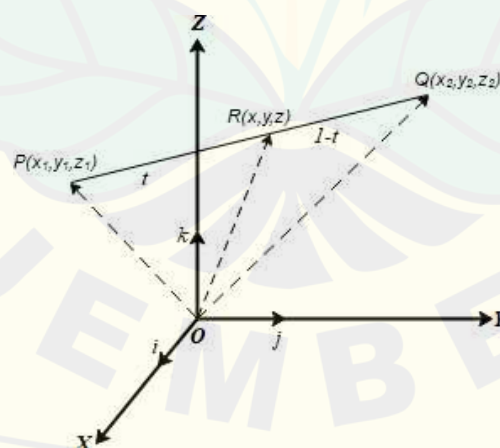
Bab ini menyajikan beberapa teori dasar yang berkaitan tentang prosedur modelisasi tiang gantungan baju. Dasar teori yang akan dibahas yaitu penyajian segmen garis di R^3 , penyajian lingkaran di R^3 , penyajian benda-benda geometri ruang yaitu prisma segi delapan, tabung, torus, bola. Selain itu disajikan pula transformasi berupa rotasi dan translasi serta interpolasi bidang, permukaan putar, penyajian kurva Bezier di R^3 , kekontinuan penggabungan kurva, deformasi, serta penyajian di Maple 18. Teori ini bertujuan untuk mempermudah proses konstruksi dan penggabungan bagian-bagian dari tiang gantungan baju.

2.1 Penyajian Segmen Garis di R^3

Segmen garis PQ atau dinotasikan \overline{PQ} merupakan himpunan titik-titik dari garis yang memuat titik P dan titik Q serta semua titik yang berada diantara titik P dan Q. Misalkan diberikan dua titik berbeda yaitu $P(x_1, y_1, z_1)$ dan $Q(x_2, y_2, z_2)$, maka segmen garis \overline{PQ} dapat didefinisikan secara vektorial dengan persamaan sebagai berikut (Gambar 2.1)

$$\overrightarrow{OR} = (1 - t)\overrightarrow{OP} + t\overrightarrow{OQ} \quad (2.1)$$

dengan $t \in [0,1]$ merupakan variabel parameter dan R elemen \overline{PQ} .



Gambar 2.1 Penyajian segmen garis di ruang

Persamaan (2.1) tersebut selanjutnya bisa dinyatakan sebagai persamaan parametrik segmen garis sebagai berikut.

$$\langle x, y, z \rangle = (1 - t)\langle x_1, y_1, z_1 \rangle + t\langle x_2, y_2, z_2 \rangle, \quad (2.2a)$$

atau

$$\begin{aligned} x &= (1 - t)x_1 + tx_2 \\ y &= (1 - t)y_1 + ty_2 \\ z &= (1 - t)z_1 + tz_2 \end{aligned} \quad (2.2b)$$

(Kusno, 2009)

2.2 Penyajian Lingkaran di R^3

Secara konseptual, lingkaran merupakan tempat kedudukan titik-titik pada bidang yang berjarak tertentu dari suatu titik tetap (Cahyono, 2019). Titik tetap disebut sebagai pusat lingkaran dan jarak tertentu disebut sebagai jari-jari (radius). Menurut Kusno (2002), misalkan $P(x, y, z)$ merupakan sebarang titik pada lingkaran yang berpusat di $O(0,0,0)$ dengan jari-jari r dan sejajar dengan bidang kartesius (Gambar 2.2a), maka akan didapatkan persamaan lingkaran sebagai berikut.

- a. Lingkaran pada bidang XOY

$$x^2 + y^2 = r^2, z = 0 \quad (2.3)$$

- b. Lingkaran pada bidang XOZ

$$x^2 + z^2 = r^2, y = 0 \quad (2.4)$$

- c. Lingkaran pada bidang YOZ

$$y^2 + z^2 = r^2, x = 0 \quad (2.5)$$

Sedangkan apabila pusatnya berada di titik $A(a, b, c)$ dengan jari-jari r dan sejajar dengan bidang kartesius (Gambar 2.2b), maka akan didapatkan persamaan lingkaran sebagai berikut.

- a. Lingkaran yang sejajar bidang XOY

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2, z = c \quad (2.6)$$

- b. Lingkaran yang sejajar bidang XOZ

$$(x - a)^2 + (z - c)^2 = r^2, y = b \quad (2.7)$$

- c. Lingkaran yang sejajar bidang YOZ

$$(y - b)^2 + (z - c)^2 = r^2, x = a \quad (2.8)$$

Persamaan parametrik lingkaran pada R^3 adalah sebagai berikut.

- a. Lingkaran dengan pusat $P(x, y, z)$ dengan jari-jari r dan sejajar dengan bidang XOY

$$L(\theta) = \langle x + r \cos \theta, y + r \sin \theta, z \rangle \quad (2.9)$$

dengan $0 \leq \theta \leq 2\pi$ dan $r > 0$.

- b. Lingkaran dengan pusat $P(x, y, z)$ dengan jari-jari r dan sejajar dengan bidang XOZ

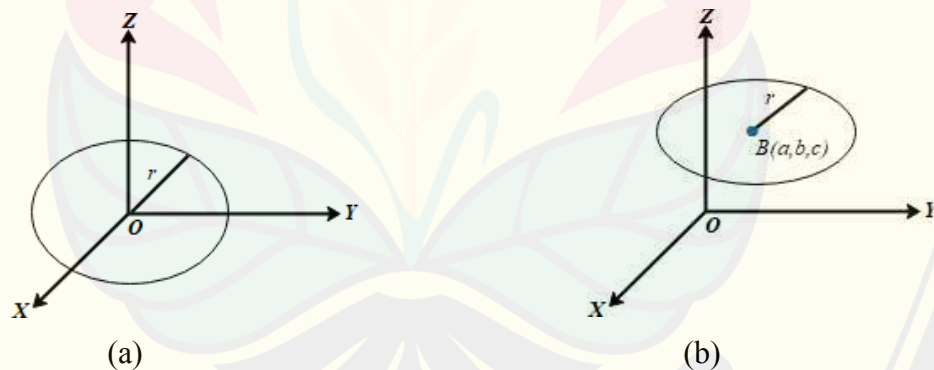
$$L(\theta) = \langle x + r \cos \theta, y, z + r \sin \theta \rangle \quad (2.10)$$

dengan $0 \leq \theta \leq 2\pi$ dan $r > 0$.

- c. Lingkaran dengan pusat $P(x, y, z)$ dengan jari-jari r dan sejajar dengan bidang YOZ

$$L(\theta) = \langle x, y + r \cos \theta, z + r \sin \theta \rangle \quad (2.11)$$

dengan $0 \leq \theta \leq 2\pi$ dan $r > 0$.



(a) Lingkaran dengan pusat $O(0,0,0)$ (b) Lingkaran dengan pusat $B(a,b,c)$

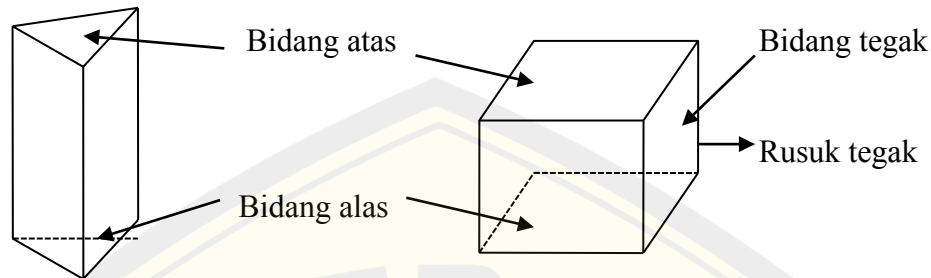
Gambar 2.2 Penyajian lingkaran di ruang

2.3 Penyajian Benda-Benda Geometris Ruang

2.3.1 Penyajian Prisma Segi delapan

Menurut Kusno (2009), prisma didefinisikan sebagai polyhedron yang dibatasi oleh dua bidang sejajar dan beberapa bidang perpotongan dengan garis-garis potong sejajar. Dua bidang yang sejajar tersebut dinamakan bidang alas dan

bidang atas, bidang-bidang perpotongan disebut dengan bidang tegak, sedangkan jarak antara bidang alas dan bidang atas disebut dengan tinggi prisma. Prisma segi empat disebut juga dengan balok (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Penyajian prisma dan bagiannya

Bidang alas dan bidang atas prisma mempengaruhi penamaan pada poligon prisma. Dikatakan prisma segi enam beraturan jika bidang alas dan bidang atas berupa segi enam beraturan. Sedangkan dikatakan prisma segi delapan beraturan jika bidang alas dan bidang atas berupa segi delapan beraturan (Gambar 2.4).

Misalkan diketahui segi delapan beraturan $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7$, dan K_8 dengan koordinat titik-titik sudut $K_1(x_1, y_1, z_1)$, $K_2(x_2, y_2, z_2)$, $K_3(x_3, y_3, z_3)$, $K_4(x_4, y_4, z_4)$, $K_5(x_5, y_5, z_5)$, $K_6(x_6, y_6, z_6)$, $K_7(x_7, y_7, z_7)$, dan $K_8(x_8, y_8, z_8)$ sebagai alas prisma. Dari data titik-titik tersebut dapat dikonstruksi prisma segi delapan beraturan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Menetapkan tiga titik sebarang, misalkan K_1, K_2, K_3 dan vektor $\overrightarrow{K_1K_2}, \overrightarrow{K_3K_2}$ dengan

$$\overrightarrow{K_1K_2} = \langle x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1 \rangle,$$

$$\overrightarrow{K_3K_2} = \langle x_2 - x_3, y_2 - y_3, z_2 - z_3 \rangle.$$

2. Menghitung vektor normal bidang (\mathbf{n}_{a_u}) alas menggunakan persamaan

$$\mathbf{n}_{a_u} = \left\langle \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}, \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}, \frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \right\rangle = \langle a_1, a_2, a_3 \rangle,$$

dengan

$$a = y_1(z_3 - z_2) + y_2(z_1 - z_3) + y_3(z_2 - z_1),$$

$$b = x_1(z_2 - z_3) + x_2(z_3 - z_1) + x_3(z_1 - z_2),$$

$$c = x_1(y_3 - y_2) + x_2(y_1 - y_3) + x_3(y_2 - y_1).$$

3. Mentranslasikan alas prisma dengan tinggi t sejajar $\mathbf{n}_{a_u} = \langle a_1, a_2, a_3 \rangle$ sehingga didapatkan bidang atas prisma dengan titik sudut $K_1', K_2', K_3', K_4', K_5', K_6', K_7', K_8'$ dengan persamaan (2.2b) sehingga didapat:

$$\overline{OK_1'} = \overline{OK_1} \mathbf{n}_{a_u} \Rightarrow \overline{OK_1'} = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix},$$

$$\overline{OK_2'} = \overline{OK_2} \mathbf{n}_{a_u} \Rightarrow \overline{OK_2'} = \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix},$$

$$\overline{OK_3'} = \overline{OK_3} \mathbf{n}_{a_u} \Rightarrow \overline{OK_3'} = \begin{pmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix},$$

$$\overline{OK_4'} = \overline{OK_4} \mathbf{n}_{a_u} \Rightarrow \overline{OK_4'} = \begin{pmatrix} x_4 \\ y_4 \\ z_4 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix},$$

$$\overline{OK_5'} = \overline{OK_5} \mathbf{n}_{a_u} \Rightarrow \overline{OK_5'} = \begin{pmatrix} x_5 \\ y_5 \\ z_5 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix},$$

$$\overline{OK_6'} = \overline{OK_6} \mathbf{n}_{a_u} \Rightarrow \overline{OK_6'} = \begin{pmatrix} x_6 \\ y_6 \\ z_6 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix},$$

$$\overline{OK_7'} = \overline{OK_7} \mathbf{n}_{a_u} \Rightarrow \overline{OK_7'} = \begin{pmatrix} x_7 \\ y_7 \\ z_7 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix},$$

$$\overline{OK_8'} = \overline{OK_8} \mathbf{n}_{a_u} \Rightarrow \overline{OK_8'} = \begin{pmatrix} x_8 \\ y_8 \\ z_8 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}.$$

4. Menginterpolasi segmen-segmen garis pada bidang alas dan bidang atas prisma menggunakan persamaan (2.12) sehingga didapatkan delapan bidang persegi dengan persamaan

$$S_{K_1K_2K_1K_2}(u-v) = (1-v)\overline{K_1K_2}(u) + v\overline{K_1K_2}(u),$$

$$S_{K_2K_3K_2K_3}(u-v) = (1-v)\overline{K_2K_3}(u) + v\overline{K_2K_3}(u),$$

$$S_{K_3K_4K_3K_4}(u-v) = (1-v)\overline{K_3K_4}(u) + v\overline{K_3K_4}(u),$$

$$S_{K_4K_5K_4K_5}(u-v) = (1-v)\overline{K_4K_5}(u) + v\overline{K_4K_5}(u),$$

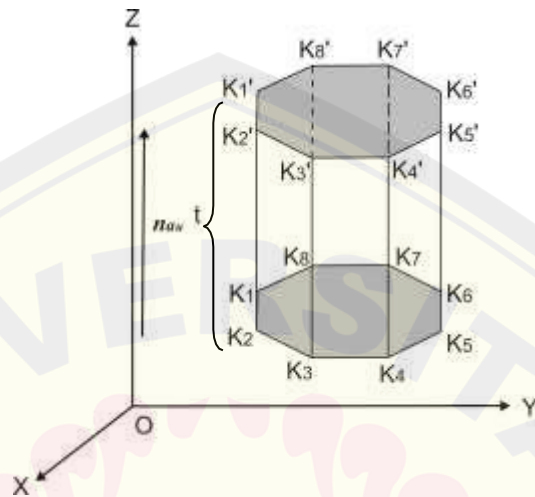
$$S_{K_5K_6K_5K_6}(u-v) = (1-v)\overline{K_5K_6}(u) + v\overline{K_5K_6}(u),$$

$$S_{K_6K_7K_6K_7}(u-v) = (1-v)\overline{K_6K_7}(u) + v\overline{K_6K_7}(u),$$

$$S_{K_7K_8K_7K_8}(u - v) = (1 - v)\overline{K_7K_8}(u) + v\overline{K_7K_8}(u),$$

$$S_{K_1K_8K_1K_8}(u - v) = (1 - v)\overline{K_1K_8}(u) + v\overline{K_1K_8}(u).$$

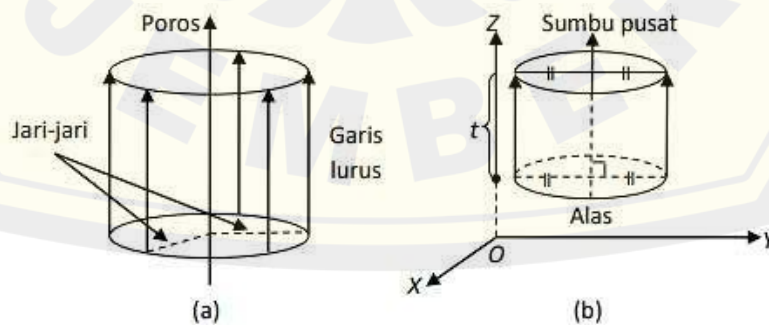
dengan $0 \leq u \leq 1$ dan $0 \leq v \leq 1$.



Gambar 2.4 Penyajian prisma segidelapan beraturan

2.3.2 Penyajian Tabung

Menurut Suryadi (1986), tabung merupakan benda geometri ruang yang dapat dibangun oleh garis lurus yang sejajar dengan garis lurus tertentu yang bergerak sejajar dengan jarak konstan atau jari-jari (Gambar 2.5). Tabung juga dapat diartikan sebagai sebuah bangun dengan ruang tiga dimensi yang dibentuk oleh dua buah lingkaran yang sejajar dengan memiliki jari-jari yang sama serta sebuah sisi lengkung. Kedua lingkaran yang sejajar disebut dengan tabung, sedangkan jarak antara dua bidang lingkaran yang sejajar disebut dengan tinggi tabung.



Gambar 2.5 Visualisasi tabung

Menurut Zammilah (2012), tabung atau silinder merupakan bangun ruang sisi lengkung yang memiliki sebuah bidang alas dan bidang atas yang kongruen dan sejajar dan berbentuk lingkaran. Sisi lengkung dari tabung disebut sebagai selimut tabung. Misalkan diketahui tabung dengan titik pusat alas $P_1(x_1, y_1, z_1)$, jari-jari r dan tinggi t , maka persamaan parametriknya adalah sebagai berikut.

- a. Jika alas terletak pada bidang $z = z_1$ dan sumbu pusat tabung sejajar sumbu Z , maka untuk mencari persamaan parametrik tabung dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut (Gambar 2.6a)

1. Tentukan persamaan parametrik lingkaran dengan pusat di $P_1(x_1, y_1, z_1)$, jari-jari r , dan terletak di bidang $z = z_1$ yaitu.

$$L(\theta) = \langle x_1 + r \cos \theta, y_1 + r \sin \theta, z_1 \rangle \quad (2.13)$$

dengan $0 \leq \theta \leq 2\pi$ dan $r > 0$.

2. Persamaan (2.13) ditranslasikan dengan lingkaran dari z_1 sampai $z_1 + t$ sehingga terbentuk persamaan parametrik tabung

$$T(\theta, z) = \langle x_1 + r \cos \theta, y_1 + r \sin \theta, z \rangle \quad (2.14)$$

dengan $0 \leq \theta \leq 2\pi$ dan $z_1 \leq z \leq z_1 + t$.

- b. Jika alas terletak di bidang $x = x_1$ dan sumbu pusat tabung sejajar dengan sumbu X , maka untuk mencari persamaan parametrik tabung dapat dilakukan dengan mengulangi langkah a dan akan didapatkan persamaan sebagai berikut (Gambar 2.6b)

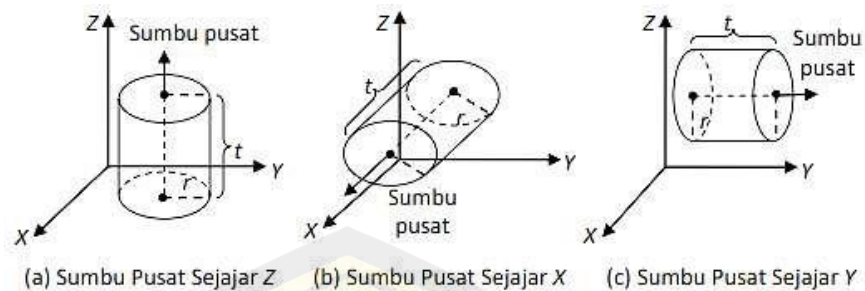
$$T(\theta, x) = \langle x, y_1 + r \sin \theta, z_1 + r \cos \theta \rangle \quad (2.15)$$

dengan $0 \leq \theta \leq 2\pi$ dan $x_1 \leq x \leq x_1 + t$.

- c. Jika alas terletak di bidang $y = y_1$ dan sumbu pusatnya sejajar sumbu Y , maka untuk mencari persamaan parametrik tabung dapat dilakukan dengan mengulangi langkah a dan akan didapatkan persamaan sebagai berikut (Gambar 2.6c)

$$T(\theta, y) = \langle x_1 + r \cos \theta, y, z_1 + r \sin \theta \rangle \quad (2.16)$$

dengan $0 \leq \theta \leq 2\pi$ dan $y_1 \leq y \leq y_1 + t$.



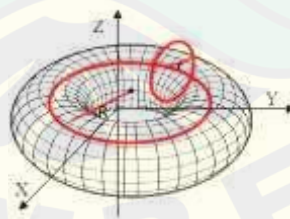
Gambar 2.6 Visualisasi tabung

2.3.3 Penyajian Torus

Torus merupakan sebuah permukaan yang terbentuk karena adanya gerakan rotasi yang dilakukan oleh suatu lingkaran yang berputar dalam ruang dimensi tiga (dengan sumbu putar yang berada secara *coplanar* atau sebidang dengan lingkaran itu sendiri). Pada umumnya, sumbu putarnya tidak menyentuh lingkaran tersebut, sehingga akan membentuk suatu cincin atau torus (Kusno, 2009). Persamaan parametrik dari torus dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}x(u, v) &= (R + r \cos v) \cos u \\y(u, v) &= (R + r \cos v) \sin u \\z(u, v) &= r \sin v\end{aligned}\quad (2.17)$$

dengan $0 \leq u, v \leq 2\pi$, R adalah jarak antara pusat torus dan pusat lingkaran dan r adalah radius dari lingkaran yang diputar (Gambar 2.7).

Gambar 2.7 Penyajian Torus dengan jari-jari R

2.3.4 Penyajian Bola

Menurut Kusno (2010), bola didefinisikan sebagai kedudukan titik-titik dalam ruang yang mempunyai jarak terhadap pusat bola adalah konstan, Semua

ruas garis penghubung dua titik pada bola yang melalui titik pusat bola disebut dengan diameter (garis tengah).

Jika diketahui bola dengan pusat $Q(a, b, c)$ dan $PQ = r$, maka bentuk persamaan bola dinyatakan sebagai berikut (Gambar 2.8):

$$B(\phi, \theta) = \overline{PQ} + S(\phi, \theta),$$

dengan

$$\overline{OQ} = \langle a, b, c \rangle$$

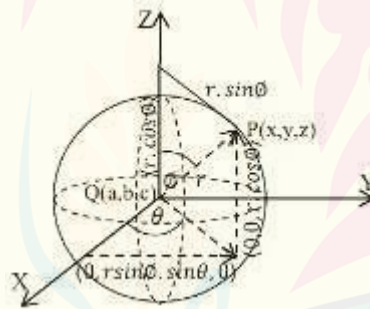
atau

$$B(\phi, \theta) = \langle r \sin(\phi) \cos(\theta), r \sin(\phi) \sin(\theta), r \cos(\phi) \rangle$$

Dengan demikian persamaan parametrik bola dengan pusat $Q(a, b, c)$ dan jari-jari r adalah sebagai berikut.

$$B(\phi, \theta) = \langle r \sin(\phi) \cos(\theta) + a, r \sin(\phi) \sin(\theta) + b, r \cos(\phi) + c \rangle, \quad (2.18)$$

dengan $0 \leq \phi, \theta \leq 2\pi$, dan r, a, b, c adalah konstanta real.



Gambar 2.8 Penyajian bola dengan pusat $Q(a, b, c)$ dan jari-jari r

Apabila bola dengan pusat sepanjang sumbu Y , maka persamaan bola dinyatakan sebagai berikut.

$$B(\phi, \theta) = \langle r \sin(\phi) \cos(\theta) + 0, r \sin(\phi) \sin(\theta) + 0, r \cos(\phi) + 0 \rangle, \quad (2.19)$$

dan persamaan parametrik bola dengan sumbu X , yaitu

$$B(\phi, \theta) = \langle r \sin(\phi) \cos(\theta) + x, r \sin(\phi) \sin(\theta) + 0, r \cos(\phi) + 0 \rangle, \quad (2.20)$$

Apabila bola dengan pusat $Q(a, b, c)$ akan dipotong tegak lurus terhadap sumbu X, Y, Z , maka potongan bola dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.18), (2.19), dan (2.20) dengan parameter $0 \leq \theta \leq 2\pi$ dan $\phi_{min} \leq \phi \leq \phi_{max}$ serta

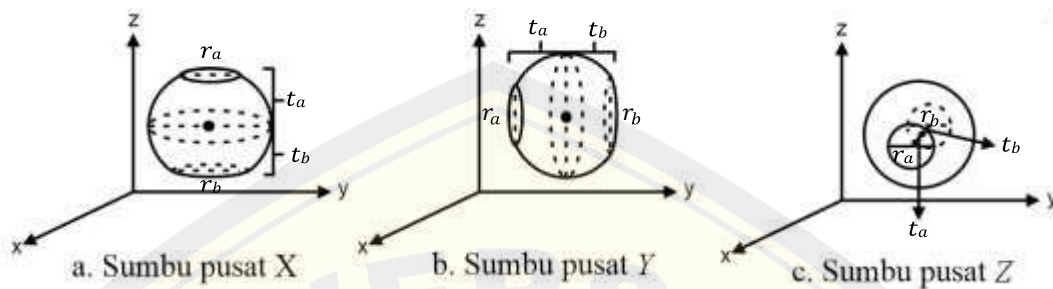
$$\text{Jari-jari atas} = r_a = r \sin(\phi_{min})$$

$$\text{Jari-jari bawah} = r_b = r \sin(\phi_{max})$$

Tinggi atas = $t_a = r \sin(\phi_{min})$

Tinggi bawah = $t_b = r \sin(\phi_{max})$

Berikut merupakan visualisasi bola dengan pusat pada sumbu X, Y, Z masing-masing ditunjukkan pada Gambar (2.8a, 2.8b, 2.8c).



Gambar 2.9 Visualisasi keratin bola dengan pusat pada sumbu X, Y, Z

2.4 Transformasi Affine

Matondang, dkk (2020) menyatakan bahwa sebuah transformasi geometri mencakup translasi, putaran (rotasi), penskalaan (dilatasi), shearing, gabungan, dan balikan. Transformasi tersebut adalah transformasi affine. Berikut ini merupakan transformasi affine yang meliputi rotasi, translasi dan dilatasi di ruang.

2.4.1 Rotasi

Menurut Roebyanto (2014), rotasi ditentukan oleh pusat rotasi, sudut putar dan arah putar. Besar sudut sebelum dan sesudah rotasi adalah tetap. Apabila sebuah sudut putar dengan rotasi positif, maka arah dari rotasi akan berlawanan dengan arah jarum jam serta apabila sudut putar dengan rotasi negatif, maka arah dari rotasi akan searah dengan jarum jam. Apabila θ menunjukkan besar sudut dari rotasi dengan bertitik pangkal $O(0,0,0)$, maka rotasi terhadap sumbu-x, sumbu-y, dan sumbu-z dapat dituliskan dalam bentuk matriks sebagai berikut.

a. Rotasi terhadap sumbu-x

$$B_1 \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (2.20)$$

b. Rotasi terhadap sumbu-y

$$B_2 \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (2.21)$$

c. Rotasi terhadap sumbu-z

$$B_3 \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (2.22)$$

dalam hal ini, matriks B_1, B_2, B_3 disebut matriks koefisien yang bersesuaian dengan transformasi rotasi.

2.4.2 Translasi di R^3

Misalkan transformasi $T: R^3 \rightarrow R^3$ merupakan pemetaan titik $P(x, y, z)$ ke titik bayangan dengan koordinat $P'(x', y', z')$ sedemikian $T(P) = P'$ atau $P' = T(P)$. Titik $P(x, y, z)$ sebagai titik asal dan $P'(x', y', z')$ sebagai titik posisi setelah titik P digeser. Transformasi dilakukan sejauh (k_1, k_2, k_3) yang merupakan nilai konstanta dengan besarnya pergeseran dari setiap sumbu koordinat. Operasi transformasi bentuk penjumlahan matriks yang digeser sejauh k_1 satuan ke arah sumbu X, k_2 satuan ke arah sumbu Y, dan k_3 satuan ke arah sumbu Z dinyatakan sebagai.

$$(x', y', z') = (x, y, z) + (k_1, k_2, k_3) = (x + k_1, y + k_2, z + k_3) \quad (2.23)$$

atau

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x + k_1 \\ y + k_2 \\ z + k_3 \end{pmatrix} \quad (2.24)$$

(Kusno, 2009)

2.5 Penyajian Interpolasi

Misal diberikan dua segmen garis yaitu \overline{AB} dan \overline{CD} yang didefinisikan dengan $A(x_1, y_1, z_1)$, $B(x_2, y_2, z_2)$, $C(x_3, y_3, z_3)$ dan $D(x_4, y_4, z_4)$ dalam bentuk parametrik $l_1(u)$ dan $l_2(u)$, maka untuk membangun permukaan parametrik

interpolasi linier dengan kedua segmen garis \overline{AB} dan \overline{CD} tersebut, dapat dirumuskan sebagai berikut (Gambar 2.9)

$$S(u, v) = (1 - v)l_1(u) + vl_2(u) \quad (2.25)$$

dengan $0 \leq u \leq 1$ dan $0 \leq v \leq 1$.

Sedangkan untuk membangun sebuah permukaan lengkung hasil interpolasi kurva ruang dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$S(\theta, v) = (1 - v)C_1(\theta) + vC_2(\theta) \quad (2.26)$$

dengan $C_1(\theta)$ dan $C_2(\theta)$ adalah kurva batas ke arah θ permukaan lingkaran maupun elips.

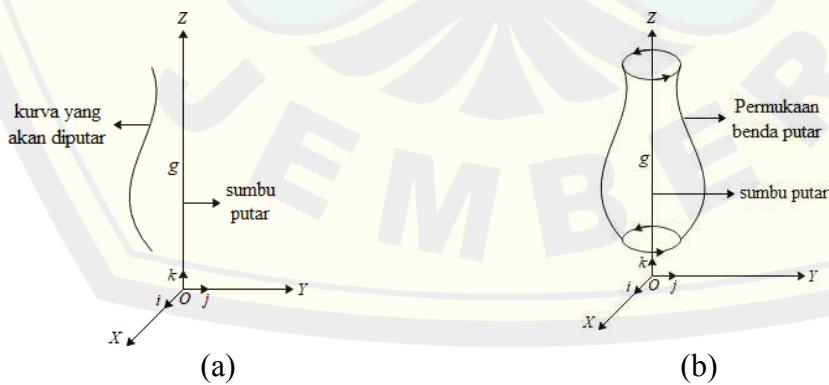


(a) Bidang Segiempat dari interpolasi \overline{AB} ke \overline{CD} ; (b) Bidang Segitiga

Gambar 2.10 Contoh Interpolasi

2.6 Permukaan Putar

Menurut Kusno (2009), suatu surfas (permukaan) yang dibangkitkan oleh suatu kurva ruang C (sebagai generatik) yang diputar mengitari sebuah sumbu putar g disebut sebagai permukaan putar (Gambar 2.11).



(a) Kurva sebelum diputar; (b) Permukaan kurva setelah diputar

Gambar 2.11 Permukaan putar

Misalkan $C_x(t)$, $C_y(t)$, dan $C_z(t)$ menyatakan komponen-komponen skalar dari kurva generatrix $\mathbf{C}(t)$, maka permukaan putar dapat dirumuskan sebagai berikut.

- a. Jika kurva generatrix $\mathbf{C}(t)$ terletak pada bidang YOZ dan diputar pada sumbu putar OZ , maka untuk mendapatkan persamaan parametrik permukaan putar dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut (Gambar 2.11a).

- 1) Menentukan persamaan parametrik kurva $\mathbf{C}(t)$ sebagai berikut :

$$\mathbf{C}(t) = \langle C_x(t), C_y(t), C_z(t) \rangle \quad (2.27)$$

dengan $0 \leq t \leq 1$

- 2) Memutar kurva $\mathbf{C}(t)$ terhadap sumbu putar OZ , maka akan terbentuk sebuah permukaan putar dengan persamaan parametrik sebagai berikut :

$$\mathbf{S}(t, \theta) = \langle C_x(t) \cos \theta, C_y(t) \sin \theta, C_z(t) \rangle \quad (2.28)$$

dengan $0 \leq t \leq 1$ dan $0 \leq \theta \leq 2\pi$.

- b. Jika kurva generatrix $\mathbf{C}(t)$ terletak pada bidang XOY dan diputar pada sumbu putar OY , maka untuk mendapatkan persamaan parametrik permukaan putar dapat dilakukan dengan mengulangi langkah a sehingga akan didapatkan persamaan parametrik sebagai berikut (Gambar 2.11b).

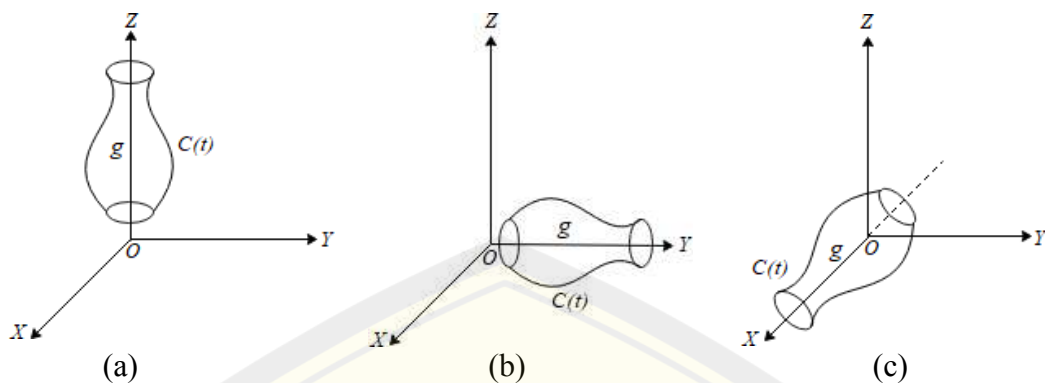
$$\mathbf{S}(t, \theta) = \langle C_x(t) \cos \theta, C_y(t), C_z(t) \sin \theta \rangle \quad (2.29)$$

dengan $0 \leq t \leq 1$ dan $0 \leq \theta \leq 2\pi$.

- c. Jika kurva generatrix $\mathbf{C}(t)$ terletak pada bidang XOZ dan diputar pada sumbu putar OX , maka untuk mendapatkan persamaan parametrik permukaan putar dapat dilakukan dengan mengulangi langkah a sehingga akan didapatkan persamaan parametrik sebagai berikut (Gambar 2.11c).

$$\mathbf{S}(t, \theta) = \langle C_x(t), C_y(t) \cos \theta, C_z(t) \sin \theta \rangle \quad (2.30)$$

dengan $0 \leq t \leq 1$ dan $0 \leq \theta \leq 2\pi$.



(a) Sumbu putar OZ ; (b) Sumbu putar OY ; (c) sumbu putar OX

Gambar 2.12 Permukaan Putar kurva

2.7 Penyajian Kurva Bezier

Menurut Kusno (2009), persamaan parametrik dari kurva Bezier derajat- n $C(u)$ dinyatakan sebagai berikut.

$$C(u) = \sum_{i=0}^n P_i B_i^n(u), 0 \leq u \leq 1, \quad (2.31)$$

dengan

$$B_i^n(u) = C_i^n (1-u)^{n-i} u^i$$

$$C_i^n = \frac{n!}{(n-i)!i!}$$

P_i = koefisien geometrik/titik kontrol kurva $C(u)$.

Misalkan $C_x(u)$, $C_y(u)$, dan $C_z(u)$ menyatakan komponen-komponen skalar dari kurva generatrix $C(u)$, maka permukaan putar yang dibangkitkan oleh kurva $C(u)$ yaitu :

- a. Jika kurva generatrix $C(u)$ pada bidang YOZ dan pada sumbu putar OZ , maka untuk mencari persamaan parametrik pada permukaan putar sebagai berikut.

1. Persamaan parametrik kurva $C(u)$, yaitu

$$C(u) = \langle C_x(u), C_y(u), C_z(u) \rangle \quad (2.32)$$

dengan $0 \leq u \leq 1$.

2. Putar kurva $C(u)$ terhadap sumbu putar OZ , maka terbentuk sebuah permukaan putar dengan persamaan parametrik

$$S(u, v) = \langle C_x(u) \cos(v), C_y(u) \sin(v), C_z(u) \rangle, \quad (2.33)$$

dengan $0 \leq u \leq 1$ dan $0 \leq v \leq 2\pi$.

- b. Jika kurva generatrix $C(u)$ pada bidang XOY dan sumbu putar OY , maka untuk mencari persamaan parametrik permukaan putar dengan mengikuti langkah a, maka diperoleh persamaan berikut.

$$S(u, v) = \langle C_x(u) \cos(v), C_y(u), C_z(u) \sin(v) \rangle, \quad (2.34)$$

dengan $0 \leq u \leq 1$ dan $0 \leq v \leq 2\pi$.

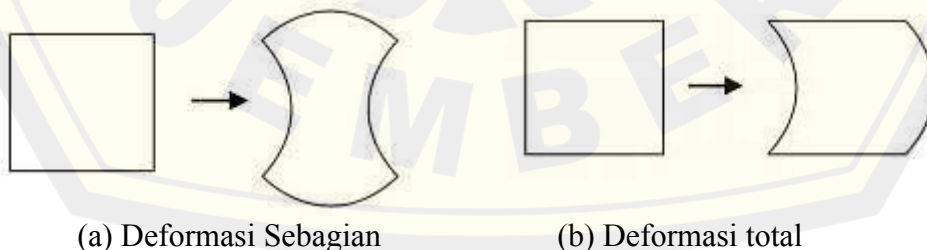
- c. Jika kurva generatrix $C(u)$ pada bidang XOY dan sumbu putar OX , maka untuk mencari persamaan parametrik permukaan putar akan dilakukan dengan mengulangi langkah a, maka persamaannya sebagai berikut.

$$S(u, v) = \langle C_x(u), C_y(u) \cos(v), C_z(u) \sin(v) \rangle, \quad (2.35)$$

dengan $0 \leq u \leq 1$ dan $0 \leq v \leq 2\pi$.

2.8 Deformasi

Menurut Kuang (1996), deformasi merupakan proses untuk mengubah sebuah bentuk suatu benda. Deformasi dibagi menjadi dua bagian, yaitu deformasi sebagian dan deformasi total. Deformasi sebagian adalah mengubah sebagian bentuk atau ukuran benda. Pada Gambar 2.12a, dua sisi yang berhadapan diubah bentuknya dari segmen garis menjadi kurva Bezier kuadrat. Sedangkan dari dua sisi lainnya dipertahankan dari bentuk dan ukurannya. Deformasi total adalah mengubah semua dari bentuk dan ukuran suatu benda sehingga benda yang dihasilkan akan berbeda dari keadaan awal. Pada Gambar 2.12b, benda semula adalah persegi kemudian semua berubah menjadi kurva Bezier dengan pola cembung dan cekung.



(a) Deformasi Sebagian

(b) Deformasi total

Gambar 2.13 Macam-macam Deformasi

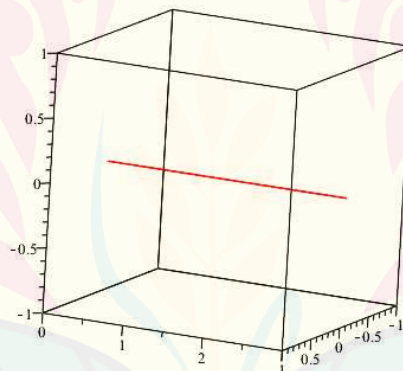
2.9 Konstruksi Objek dasar Geometri pada Program Maple 18

Pada subbab ini akan disajikan beberapa contoh konstruksi objek-objek dasar geometri dengan menggunakan *software* Maple 18. Berikut adalah contoh pemrogramannya.

2.9.1 Penyajian Segmen Garis

Untuk membuat segmen garis menggunakan maple, dapat menggunakan persamaan (2.1) dengan memberikan nilai (x_1, y_1, z_1) dan (x_2, y_2, z_2) sebagai posisi titik ujung segmen garis ruang. Misalkan diketahui titik-titik ujung $A(0,0,0)$ dan $B(0,3,0)$ akan dibuat sebuah segmen garis m (Gambar 2.13). Berikut ini contoh *script* program Maple 18.

```
>m:=spacecurve([(1-t)*0+t*0, (1-t)*0+t*3, (1-
t)*0+t*0], t=0..1, color=red):
> display(m);
```

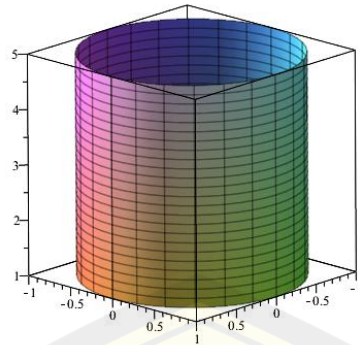


Gambar 2.14 Segmen Garis

2.9.2 Penyajian Tabung

Tabung dapat dikonstruksi menggunakan persamaan (2.15) dengan memberikan nilai jari-jari dan tinggi pada tabung. Misalkan tabung T dengan jari-jari 2 satuan dan tinggi 1 satuan (Gambar 2.15). Berikut ini contoh *script* program Maple 18.

```
>ta:=plot3d([(1-v)+1*v)*cos(u), ((1-v)+1*v)*sin(u), ((1-v)
+5*v)], u=0..2*Pi, v=0..1):
>Axes= framed, scaling=constrained, labels=[x,y,z]:
>display(ta);
```

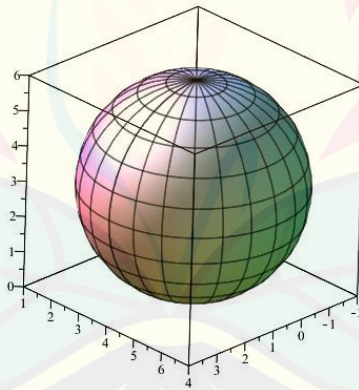


Gambar 2.15 Tabung

2.9.3 Penyajian Bola

Untuk membuat bola dapat ditentukan dari jari-jari dan titik pusatnya. Misalkan akan dibentuk bola OP dengan pusat di $A(0,0,0)$ dan jari-jarinya sepanjang 4 satuan (Gambar 2.16). berikut ini contoh *script* program Maple 18.

```
>OP:=plot3d([3*sin(v)*cos(u)+1, 3*sin(v)*sin(u)+4, 3*cos(v)+3
],u=0..2*Pi, v=0..2*Pi):
>Axes=framed,scaling=constrained,labels=[x,y,z]:
>display(OP);
```

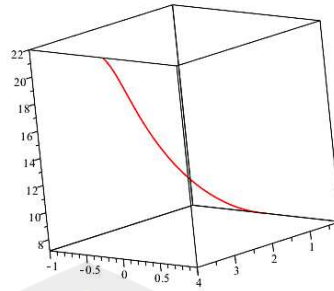


Gambar 2.16 Penyajian Bola

2.9.4 Penyajian Kurva Bezier

Untuk membangun sebuah kurva Bezier, misalkan diberikan tiga titik pusat yaitu $P_0(4,0,8), P_1(5,0,7), P_2(5,0,7)$ (Gambar 2.17). Berikut ini contoh *script* program Maple 2018.

```
>p:=spacecurve([4*(1-t)^3+5*2*(1-t)*t+t^2*0, 0*(1-t)^2+
0*2*(1-t)*t+t^2*0, 8*(1-t)+7*2*(1-
t)^t+t^2*7],t=0..1,color=red):
>display(p);
```

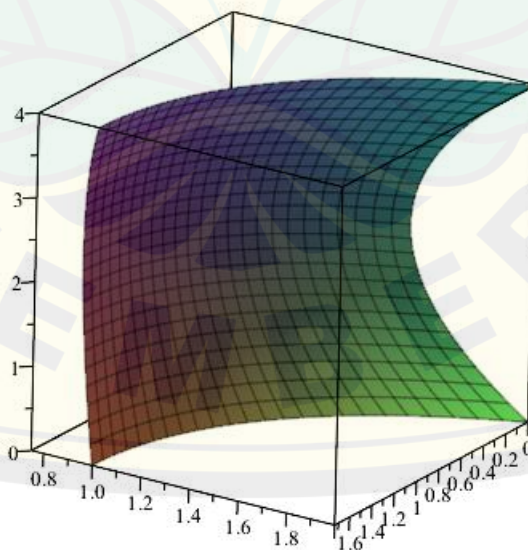


Gambar 2.17 Penyajian Kurva Bezier

2.9.5 Penyajian Permukaan Bezier

Untuk membangun permukaan Bezier dengan permukaan Bezier adalah pq , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.18. berikut ini adalah contoh *script* program Maple 18.

```
>pq:=plot3d([(1-v)^2*((1-t)^2*sqrt(3)+(2*(1-t))*t/sqrt(3)
+t^2*0)+(2*(1-v))*v*((1/2)*(1-t)^2*sqrt(3)+(1/6)*(2*(1-t)
)*t*sqrt(3)+t^2*0)+v^2*((1-t)^2*sqrt(3)+(2*(1-t))*t/sqrt(3)
+t^2*0), (1-v)^2*((1-t)^2+(2*(1-t))*t+2*t^2)+(2*(1-v))*v*((1/
2)*(1-t)^2+(1/2)*(2*(1-t))*t+t^2)+v^2*((1-t)^2+(2*(1-t))*t+
2*t^2), (1-v)*((1-t)^2*0+(2*(1-t))*t*0+t^2*0)+(2*(1-v))*v*(2*
(1-t)^2+2*(2*(1-t))*t+2*t^2)+v^2*(4*(1-t)^2+4*(2*(1-t))*t+4*
t^2)],t=0..1,v=0..1):
>Axes=framed, scaling=constrained, labels=[x,y,z]:
>display(pq);
```



Gambar 2.18 Permukaan Bezier

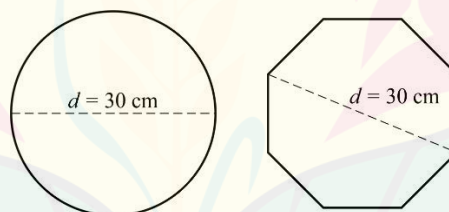
BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Data Penelitian

Penelitian ini memodelisasi tiang gantungan baju dengan konstruksi menggunakan metode kurva Bezier. Tiang gantungan baju ini, dibagi mejadi lima bagian, yaitu alas, tiang, mahkota tiang, gantungan atas, dan gantungan bawah. Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah ukuran dari setiap komponen tiang gantungan baju tersebut. Berikut ukuran dari setiap bagian yang akan digunakan dalam pemodelan.

a. Alas tiang

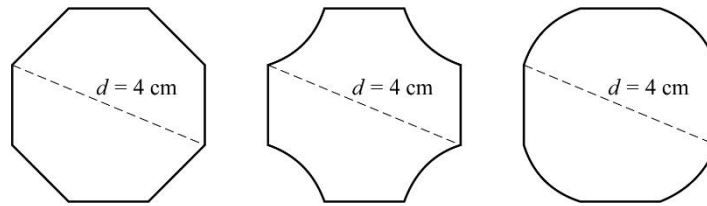
Alas tiang merupakan bagian paling bawah dari tiang gantungan baju yang berfungsi untuk tumpuan serta menjaga keseimbangan. Terdapat dua model alas tiang yang akan dibuat dalam penelitian ini, yaitu model satu dengan bentuk tabung dan model dua dengan bentuk prisma segi delapan. Diameter alas tiang tersebut ditetapkan sebesar $d = 30$ cm dan ketinggiannya $h = 3$ cm. Ilustrasi alas tiang beserta ukurannya dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Model dan ukuran alas tiang

b. Badan tiang

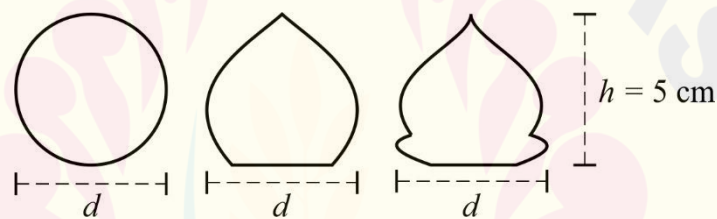
Badan tiang merupakan bagian utama yang dimodelkan. Terdapat tiga model badan tiang yang akan dibuat, yaitu model satu berbentuk prisma segi delapan, model dua berbentuk prisma segi delapan dengan deformasi cekung, dan model tiga berbentuk prisma segi delapan dengan deformasi cembung. Dalam penelitian ini, badan tiang akan dimodelkan dengan diameter $d = 4$ cm dan tinggi dalam interval $145 \leq h \leq 150$ cm. Pada Gambar 3.2 diilustrasi bentuk badan tiang yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.2 Model dan ukuran badan tiang

c. Mahkota tiang

Mahkota tiang adalah bagian yang berada pada ujung tiang sebagai tambahan hiasan agar lebih menarik. Dalam penelitian ini akan digunakan tiga model mahkota tiang, yaitu model satu dengan bentuk bola, model dua dengan bentuk kubah 1 lengkung, dan model tiga dengan bentuk kubah 2 lengkung. Ukuran dari ketiga model tersebut yaitu diameter dalam interval $4 \leq d \leq 5$ cm dan tinggi $h = 5$ cm. Ilustrasi model serta ukuran dari mahkota tiang ditunjukkan pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Model dan ukuran mahkota tiang

d. Gantungan atas

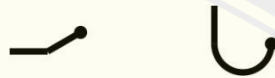
Gantungan atas juga merupakan bagian paling utama. Pada dasarnya, gantungan atas dibuat dari pipa besi yang dilengkungkan atau dibelokkan pada beberapa titik dan diberi bulatan bola pada kedua ujung. Diameter pipa yang digunakan untuk gantungan atas ini ditentukan sebesar $d = 1,2$ cm dan diameter bulatan bola sebesar $d = 1,5$ cm. Berikut Gambar 3.4 ilustrasi model gantungan atas yang akan dibuat dalam penelitian ini.



Gambar 3.4 Model gantungan atas

e. Gantungan bawah

Sama halnya dengan gantungan atas, gantungan bawah juga merupakan bagian utama dari tiang gantungan baju yang dimodelisasi. Gantungan bawah juga dibuat dengan pipa besi yang ujungnya diberi bulatan bola. Namun, ukuran yang digunakan lebih kecil yaitu diameter pipa $d = 0,8$ cm dan diameter bola $d = 1$ cm. Bentuk yang akan dimodelkan untuk gantungan bawah diilustrasikan pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Model gantungan bawah

3.2 Langkah-langkah Penelitian

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini untuk menjawab rumusan masalah pada Subbab 1.2 diuraikan sebagai berikut.

a. Konstruksi komponen penyusun tiang gantungan baju

Langkah konstruksi ini dibagi menjadi beberapa tahapan yang antara lain sebagai berikut.

1) Menentukan komponen penyusun

Pada tahap ini, kerangka tiang gantungan baju dibagi menjadi beberapa komponen-komponen penyusun untuk alas, tiang, mahkota tiang, gantungan atas, dan gantungan bawah.

2) Menentukan benda dasar dan kurva Bezier

Pada tahap ini, penulis menentukan benda dasar geometri ruang (prisma, silinder, bola, torus, kerucut) dan kurva Bezier orde 2-3 yang diperlukan untuk mengonstruksi setiap komponen penyusun alas, tiang, mahkota tiang, gantungan atas, dan gantungan bawah.

3) Deformasi

Pada tahap ini, benda-benda geometri ruang dan kurva Bezier dideformasi sesuai bentuk komponen penyusun. Metode deformasi yang digunakan juga disesuaikan dengan kebutuhan.

- 4) Menentukan titik kontrol
 - a) Prisma, menentukan titik-titik sudutnya ($P_i, 1 \leq i \leq 8$) dan tinggi (t).
 - b) Silinder, menentukan titik pusat alas (P_0), jari-jari (r), dan tinggi (t).
 - c) Torus, menentukan titik pusat torus (P_0), jari-jari lingkaran (r), dan jarak titik pusat torus terhadap titik pusat lingkaran (R).
 - d) Bola, menentukan titik pusat alas (P_0) dan jari-jari (r).
 - e) Kerucut, menentukan titik pusat alas (P_0), jari-jari alas (r), dan tinggi kerucut (t).
 - f) Kurva Bezier, menentukan setiap titik kontrolnya (P_0, P_1, \dots, P_n).

- 5) Menentukan sumbu pembangkitan

Pada tahap ini, ditentukan sumbu pembangkitannya, yaitu sumbu X , sumbu Y , atau sumbu Z untuk setiap komponen penyusun.

- 6) Konstruksi komponen penyusun

Pada tahap ini, setiap komponen penyusun alas, tiang, mahkota tiang, gantungan atas, dan gantungan bawah hasil deformasi dikonstruksi berdasarkan ukuran yang telah ditetapkan seperti yang telah diuraikan pada subbab 3.1, titik kontrol dan sumbu pembangkitan yang telah ditentukan pada tahap sebelumnya.

- b. Penggabungan komponen penyusun tiang gantungan baju

Langkah penggabungan ini dibagi menjadi tiga tahapan sebagai berikut.

- 1) Menentukan titik penggabungan

Pada tahap ini, setiap komponen penyusun alas, tiang, mahkota tiang, gantungan atas, dan gantungan bawah ditentukan titik peletakannya dalam penggabungan seluruh komponen agar menjadi tiang gantungan baju yang utuh.

- 2) Menentukan metode penggabungan

Pada tahap ini, ditentukan metode penggabungan setiap komponen penyusun tiang gantungan baju, yaitu translasi dan rotasi.

- 3) Menggabungkan komponen penyusun

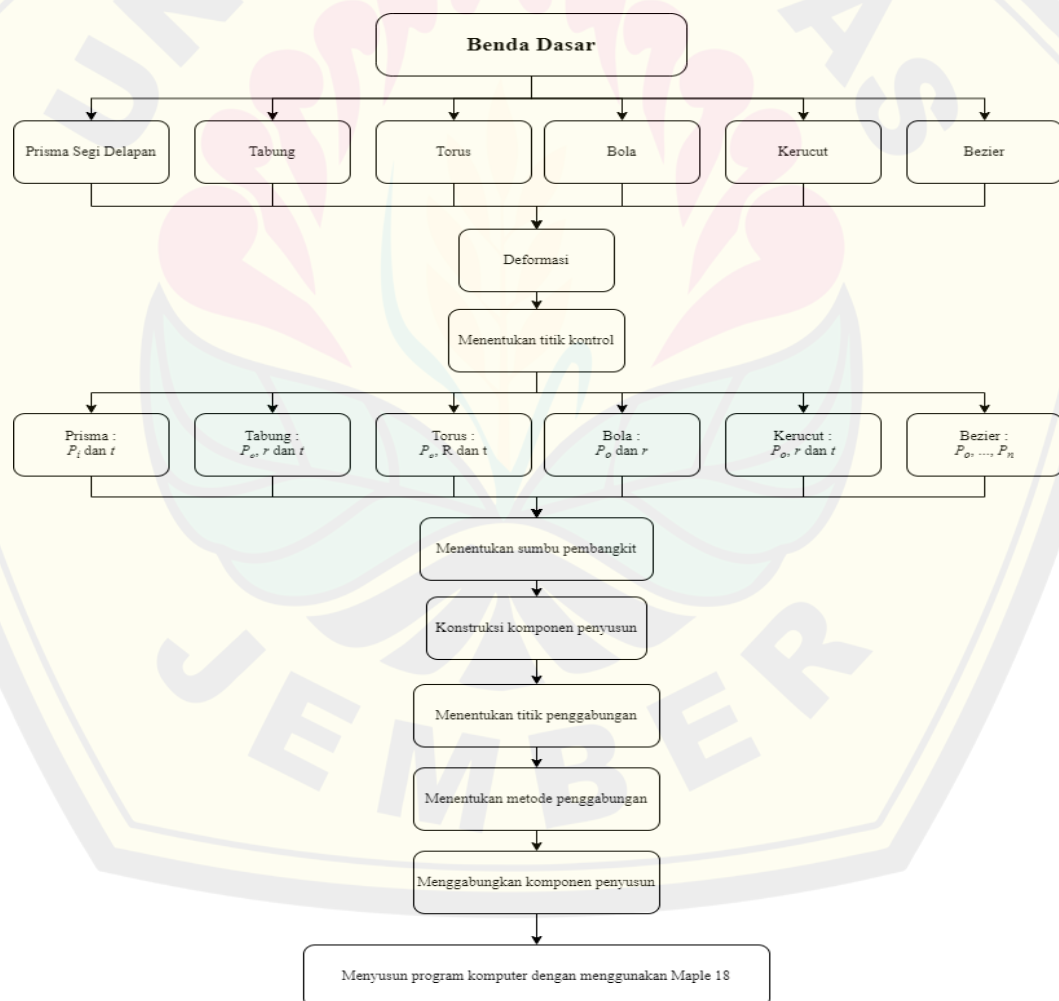
Pada tahap ini, keseluruhan komponen alas, tiang, mahkota tiang, gantungan atas, dan gantungan bawah digabungkan berdasarkan titik penggabungan

dan metode menggabungkannya yang telah ditentukan pada tahap sebelumnya.

c. Pembuatan program dan simulasi

Langkah terakhir dari penelitian ini adalah membuat program menggunakan bantuan program Maple 18 *Classic Worksheet*. Program dibuat sesuai dengan langkah konstruksi dan penggabungan komponen penyusun tiang gantungan baju. Setelah program selesai dibuat, selanjutnya program ini disimulasikan untuk melihat hasil konstruksi dan penggabungan komponen penyusun alas, tiang, mahkota tiang, gantungan atas, dan gantungan bawah serta pilihan modelnya menjadi bentuk tiang gantungan baju secara utuh.

Langkah-langkah penelitian yang telah diuraikan di atas direpresentasikan dalam diagram alir pada Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Diagram alir langkah penelitian

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas tentang hasil dan pembahasan dari modelisasi tiang gantungan baju. Uraian yang diberikan dibagi menjadi tiga bagian. Bagian pertama berisi uraian tentang modelisasi komponen penyusun tiang gantungan baju. Pada bagian kedua diuraikan penjelasan terkait penggabungan komponen penyusun tiang gantungan baju. Dan, bagian terakhir merupakan bagian pembahasan yang menguraikan tentang hasil modelisasi yang didapatkan.

4.1 Modelisasi Komponen Penyusun Tiang Gantungan Baju

Tiang gantungan baju ini, dibagi menjadi lima komponen utama, yaitu alas tiang, badan tiang, mahkota tiang, gantungan atas, dan gantungan bawah. Komponen-komponen penyusun tersebut, dimodelisasikan dari beberapa benda geometri ruang, seperti prisma segi delapan, tabung, torus, lingkaran, dan perputaran kurva Bezier. Secara detail, tahapan modelisasi komponen tersebut diuraikan sebagai berikut.

4.1.1 Modelisasi Alas Tiang

Pada tahapan penelitian ini, komponen alas dibentuk menjadi dua model, yaitu berbentuk tabung dan berbentuk prisma segi delapan. Kedua model tersebut dibuat dengan diameter sebesar $d = 30$ cm dan ketinggian (ketebalan) sebesar $h = 3$ cm. Berdasarkan diameter dari alas tiang yang ditentukan tersebut, maka alas tiang memiliki jari-jari sebesar $r = 15$ cm. Pemodelan dari kedua bentuk alas adalah sebagai berikut.

a. Modelisasi alas berbentuk tabung

Untuk memodelisasikan alas yang berbentuk tabung, dilakukan beberapa langkah, antara lain:

1) Menentukan koordinat titik pusat

Tabung memiliki tiga sisi, yaitu sisi alas, sisi selimut, dan sisi tutup. Sisi alas berpusat di titik $O(0, 0, 0)$, sisi selimut berpusat di titik $P(0, 0, 1,5)$, dan

untuk sisi tutup berpusat di titik $Q(0, 0, 3)$. Sisi tutup ini berada di ketinggian $z = 3$ karena ketebalan alas tiang ditentukan sebesar 3 cm.

2) Membangun sisi alas tabung

Sisi alas tabung memiliki bentuk lingkaran. Oleh karena itu, dengan mensubstitusi jari-jari dan titik pusatnya ke persamaan lingkaran (2.9) pada Bab 2, maka diperoleh persamaan sisi alas tabung sebagai berikut.

$$\langle x, y, z \rangle = \langle 15 v \cos \theta, 15 v \sin \theta, 0 \rangle$$

dengan $0 \leq \theta \leq 2\pi, 0 \leq v \leq 1$.

3) Membangun sisi selimut tabung

Sisi selimut dari komponen alas tiang dapat dibangun menggunakan persamaan tabung (2.14) pada Bab 2. Jika jari-jari dan tinggi tabung disubstitusikan ke persamaan itu, maka persamaan untuk selimut alas tiang berbentuk tabung adalah sebagai berikut.

$$\langle x, y, z \rangle = \langle 15 \cos \theta, 15 \sin \theta, 3v \rangle$$

dengan $0 \leq \theta \leq 2\pi, 0 \leq v \leq 1$.

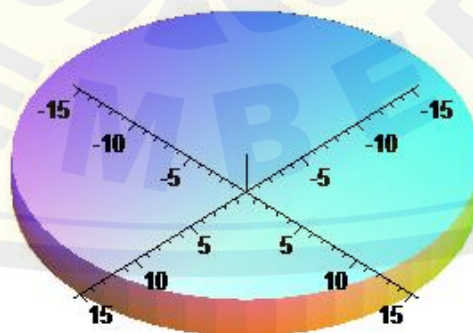
4) Membangun sisi tutup tabung

Sisi tutup tabung juga memiliki bentuk lingkaran. Oleh karena itu, dengan mensubstitusi jari-jari dan titik pusatnya ke persamaan lingkaran (2.9) pada Bab 2, maka diperoleh persamaan sisi tutup tabung sebagai berikut.

$$\langle x, y, z \rangle = \langle 15 v \cos \theta, 15 v \sin \theta, 3 \rangle$$

dengan $0 \leq \theta \leq 2\pi, 0 \leq v \leq 1$.

Dengan menggabungkan ketiga sisi tersebut, maka didapatkan bentuk alas tiang seperti pada Gambar 4.1 berikut. *Script* terdapat pada Lampiran 5.



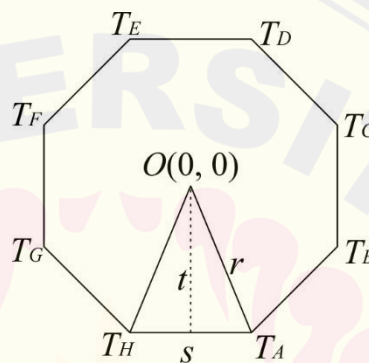
Gambar 4.1 Alas tiang berbentuk tabung

b. Modelisasi alas berbentuk prisma segi delapan

Untuk memodelisasikan alas yang berbentuk prisma segi delapan, langkah-langkah yang dapat dilakukan antara lain sebagai berikut.

1) Menentukan koordinat titik

Diameter alas tiang ditentukan sebesar $d = 30$ cm atau jari-jarinya $r = 15$ cm. Untuk menentukan koordinat titik dari prisma segi delapan, maka perlu ditentukan terlebih dahulu koordinat titik dari segi delapannya, menggunakan ilustrasi pada Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Ilustrasi segi delapan

Segi delapan merupakan salah satu bangun datar yang titik-titiknya simetris. Oleh karena itu, jika titik pusat dan salah satu titik sudutnya diketahui, maka titik sudut yang lainnya akan dapat dengan mudah dicari. Untuk mencari koordinat titik sudut dari segi delapan, panjang sisi s dan panjang t pada Gambar 4.2 maka harus dihitung terlebih dahulu berdasarkan jari-jari dan besar sudutnya. Apabila diambil bangun segitiga seperti pada Gambar 4.2, maka besar sudut di titik T_A dan T_H adalah $\frac{135^\circ}{2}$, dan besar sudut di titik O adalah 45° . Dengan demikian panjang s dapat dicari dengan menggunakan konsep perbandingan sebagai berikut.

$$\frac{s}{\sin 45^\circ} = \frac{r}{\sin \frac{135^\circ}{2}}$$

$$s = \frac{15 \sin 45^\circ}{\sin \frac{135^\circ}{2}} \quad (4.1)$$

Selanjutnya, dengan menggunakan panjang jari-jari r dan panjang setengah sisi s pada Persamaan (4.1), maka panjang dari t dapat dicari dan dihitung

melalui rumus Phytagoras. Panjang t dituliskan dalam Persamaan (4.2) berikut.

$$t = \sqrt{15^2 - \left(\frac{s}{2}\right)^2} \quad (4.2)$$

Setelah didapatkan nilai s dan t , maka koordinat titik dari segi delapan untuk alas prisma antara lain: $T_A\left(\frac{s}{2}, -t, 0\right)$, $T_B\left(t, -\frac{s}{2}, 0\right)$, $T_C\left(t, \frac{s}{2}, 0\right)$, $T_D\left(\frac{s}{2}, t, 0\right)$, $T_E\left(-\frac{s}{2}, t, 0\right)$, $T_F\left(-t, \frac{s}{2}, 0\right)$, $T_G\left(-t, -\frac{s}{2}, 0\right)$, dan $T_H\left(-\frac{s}{2}, -t, 0\right)$. Koordinat titik dari segi delapan untuk tutup prisma antara lain: $T'_A\left(\frac{s}{2}, -t, 3\right)$, $T'_B\left(t, -\frac{s}{2}, 3\right)$, $T'_C\left(t, \frac{s}{2}, 3\right)$, $T'_D\left(\frac{s}{2}, t, 3\right)$, $T'_E\left(-\frac{s}{2}, t, 3\right)$, $T'_F\left(-t, \frac{s}{2}, 3\right)$, $T'_G\left(-t, -\frac{s}{2}, 3\right)$, dan $T'_H\left(-\frac{s}{2}, -t, 3\right)$.

2) Membangun sisi-sisi prisma

Dari titik-titik yang sudah didapatkan, kemudian dikombinasikan menjadi segmen-segmen garis sebagai rusuk prisma, dan segmen tersebut diinterpolasi linier untuk membentuk sisi prisma. Pasangan segmen garis yang diinterpolasi antara lain sebagai berikut.

a) Sisi tegak

$\overline{T_A T_B}$ dengan $\overline{T'_A T'_B}$, $\overline{T_B T_C}$ dengan $\overline{T'_B T'_C}$, $\overline{T_C T_D}$ dengan $\overline{T'_C T'_D}$, $\overline{T_D T_E}$ dengan $\overline{T'_D T'_E}$, $\overline{T_E T_F}$ dengan $\overline{T'_E T'_F}$, $\overline{T_F T_G}$ dengan $\overline{T'_F T'_G}$, $\overline{T_G T_H}$ dengan $\overline{T'_G T'_H}$, dan $\overline{T_H T_A}$ dengan $\overline{T'_H T'_A}$.

b) Sisi alas prisma

Untuk membentuk sisi alas prisma yang utuh, maka diperlukan setidaknya tiga interpolasi, yaitu $\overline{T_A T_B}$ dengan $\overline{T_H T_G}$, $\overline{T_B T_C}$ dengan $\overline{T_G T_F}$, dan $\overline{T_C T_D}$ dengan $\overline{T_F T_E}$.

c) Sisi tutup prisma

Untuk membentuk sisi tutup prisma juga diperlukan setidaknya tiga interpolasi, yaitu $\overline{T'_A T'_B}$ dengan $\overline{T'_H T'_G}$, $\overline{T'_B T'_C}$ dengan $\overline{T'_G T'_F}$, dan $\overline{T'_C T'_D}$ dengan $\overline{T'_F T'_E}$.

Selanjutnya, dari pasangan segmen garis tersebut dibentuk persamaan interpolasi dengan mensubstitusikan koordinat titiknya, dan diperoleh persamaan parametrik berikut.

a) Sisi tegak

$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle (1-v) \left((1-u) \left(\frac{s}{2} \right) + u(t) \right) + v \left((1-u) \left(\frac{s}{2} \right) + u(t) \right), (1-v) \left((1-u)(-t) + u \left(-\frac{s}{2} \right) \right) + v \left((1-u)(-t) + u \left(-\frac{s}{2} \right) \right), (1-v) \left((1-u)(0) + u(0) \right) + v \left((1-u)(3) + u(3) \right) \rangle,$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle (1-v) \left((1-u)(t) + u(t) \right) + v \left((1-u)(t) + u(t) \right), (1-v) \left((1-u) \left(-\frac{s}{2} \right) + u \left(\frac{s}{2} \right) \right) + v \left((1-u) \left(-\frac{s}{2} \right) + u \left(\frac{s}{2} \right) \right), (1-v) \left((1-u)(0) + u(0) \right) + v \left((1-u)(3) + u(3) \right) \rangle,$$

$$\langle x_c, y_c, z_c \rangle = \langle (1-v) \left((1-u)(t) + u \left(\frac{s}{2} \right) \right) + v \left((1-u)(t) + u \left(\frac{s}{2} \right) \right), (1-v) \left((1-u) \left(\frac{s}{2} \right) + u(t) \right) + v \left((1-u) \left(\frac{s}{2} \right) + u(t) \right), (1-v) \left((1-u)(0) + u(0) \right) + v \left((1-u)(3) + u(3) \right) \rangle,$$

$$\langle x_d, y_d, z_d \rangle = \langle (1-v) \left((1-u) \left(\frac{s}{2} \right) + u \left(-\frac{s}{2} \right) \right) + v \left((1-u) \left(\frac{s}{2} \right) + u \left(-\frac{s}{2} \right) \right), (1-v) \left((1-u)(t) + u(t) \right) + v \left((1-u)(t) + u(t) \right), (1-v) \left((1-u)(0) + u(0) \right) + v \left((1-u)(3) + u(3) \right) \rangle,$$

$$\langle x_e, y_e, z_e \rangle = \langle (1-v) \left((1-u) \left(-\frac{s}{2} \right) + u(-t) \right) + v \left((1-u) \left(-\frac{s}{2} \right) + u(-t) \right), (1-v) \left((1-u)(t) + u \left(\frac{s}{2} \right) \right) + v \left((1-u)(t) + u \left(\frac{s}{2} \right) \right), (1-v) \left((1-u)(0) + u(0) \right) + v \left((1-u)(3) + u(3) \right) \rangle,$$

$$\langle x_f, y_f, z_f \rangle = \langle (1-v) \left((1-u)(-t) + u(-t) \right) + v \left((1-u)(-t) + u(-t) \right), (1-v) \left((1-u) \left(\frac{s}{2} \right) + u \left(-\frac{s}{2} \right) \right) + v \left((1-u) \left(-\frac{s}{2} \right) + u \left(-\frac{s}{2} \right) \right), (1-v) \left((1-u)(0) + u(0) \right) + v \left((1-u)(3) + u(3) \right) \rangle,$$

$$\langle x_g, y_g, z_g \rangle = \langle (1-v) \left((1-u)(-t) + u \left(-\frac{s}{2} \right) \right) + v \left((1-u)(-t) + u \left(-\frac{s}{2} \right) \right), (1-v) \left((1-u) \left(-\frac{s}{2} \right) + u(-t) \right) + v \left((1-u) \left(-\frac{s}{2} \right) + u(-t) \right), (1-v) \left((1-u)(0) + u(0) \right) + v \left((1-u)(3) + u(3) \right) \rangle,$$

$$\langle x_h, y_h, z_h \rangle = \langle (1-v) \left((1-u) \left(-\frac{s}{2} \right) + u \left(\frac{s}{2} \right) \right) + v \left((1-u) \left(-\frac{s}{2} \right) + u \left(\frac{s}{2} \right) \right), (1-v) \left((1-u)(-t) + u(-t) \right) + v \left((1-u)(-t) + u(-t) \right), (1-v) \left((1-u)(0) + u(0) \right) + v \left((1-u)(3) + u(3) \right) \rangle,$$

dengan $1 \leq u, v \leq 1$.

b) Sisi alas prisma

$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle (1-v) \left((1-u) \left(\frac{s}{2} \right) + u(t) \right) + v \left((1-u) \left(-\frac{s}{2} \right) + u(-t) \right), (1-v) \left((1-u)(-t) + u \left(-\frac{s}{2} \right) \right) + v \left((1-u)(-t) + u \left(-\frac{s}{2} \right) \right), (1-v)((1-u)(0) + u(0)) + v((1-u)(0) + u(0)) \rangle,$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle (1-v)((1-u)(t) + u(t)) + v((1-u)(-t) + u(-t)), (1-v) \left((1-u) \left(-\frac{s}{2} \right) + u \left(\frac{s}{2} \right) \right) + v \left((1-u) \left(-\frac{s}{2} \right) + u \left(\frac{s}{2} \right) \right), (1-v)((1-u)(0) + u(0)) + v((1-u)(0) + u(0)) \rangle,$$

$$\langle x_c, y_c, z_c \rangle = \langle (1-v) \left((1-u)(t) + u \left(\frac{s}{2} \right) \right) + v \left((1-u)(-t) + u \left(-\frac{s}{2} \right) \right), (1-v) \left((1-u) \left(\frac{s}{2} \right) + u(t) \right) + v \left((1-u) \left(\frac{s}{2} \right) + u(t) \right), (1-v)((1-u)(0) + u(0)) + v((1-u)(0) + u(0)) \rangle,$$

dengan $1 \leq u, v \leq 1$.

c) Sisi tutup prisma

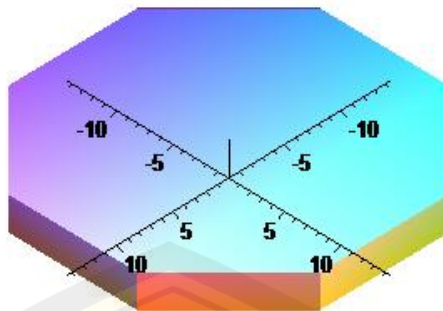
$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle (1-v) \left((1-u) \left(\frac{s}{2} \right) + u(t) \right) + v \left((1-u) \left(-\frac{s}{2} \right) + u(-t) \right), (1-v) \left((1-u)(-t) + u \left(-\frac{s}{2} \right) \right) + v \left((1-u)(-t) + u \left(-\frac{s}{2} \right) \right), (1-v)((1-u)(3) + u(3)) + v((1-u)(3) + u(3)) \rangle,$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle (1-v)((1-u)(t) + u(t)) + v((1-u)(-t) + u(-t)), (1-v) \left((1-u) \left(-\frac{s}{2} \right) + u \left(\frac{s}{2} \right) \right) + v \left((1-u) \left(-\frac{s}{2} \right) + u \left(\frac{s}{2} \right) \right), (1-v)((1-u)(3) + u(3)) + v((1-u)(3) + u(3)) \rangle,$$

$$\langle x_c, y_c, z_c \rangle = \langle (1-v) \left((1-u)(t) + u \left(\frac{s}{2} \right) \right) + v \left((1-u)(-t) + u \left(-\frac{s}{2} \right) \right), (1-v) \left((1-u) \left(\frac{s}{2} \right) + u(t) \right) + v \left((1-u) \left(\frac{s}{2} \right) + u(t) \right), (1-v)((1-u)(3) + u(3)) + v((1-u)(3) + u(3)) \rangle,$$

dengan $1 \leq u, v \leq 1$.

Dengan menggabungkan semua sisi tersebut, maka didapatkan bentuk alas tiang seperti pada Gambar 4.3. *Script* terdapat pada Lampiran 5.



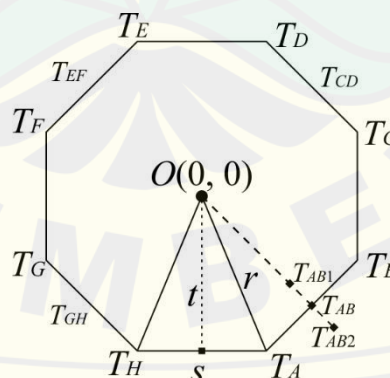
Gambar 4.3 Alas tiang berbentuk prisma segi delapan

4.1,2 Modelisasi Badan Tiang

Pada penelitian ini, komponen badan tiang dibentuk dalam tiga model, yaitu prisma segi delapan, prisma segi delapan dengan deformasi cekung, dan prisma segi delapan dengan deformasi cembung seperti pada Gambar 3.2. Ketiga model tersebut dibuat tanpa alas dan tutup, dengan diameter sebesar $d = 4$ cm dan ketinggian dalam interval $145 \leq h \leq 150$ cm. Berdasarkan dari diameter alas tiang yang ditentukan tersebut, maka jari-jarinya adalah sebesar $r = 2$ cm. Pemodelan dari ketiga bentuk badan tiang dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

a. Menentukan koordinat titik

Untuk menentukan koordinat titik dari prisma segi delapan beserta titik kontrol deformasi, maka perlu ditentukan terlebih dahulu koordinat titik dari segi delapannya, menggunakan ilustrasi pada Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.4 Ilustrasi segi delapan dengan titik kontrol deformasi

Dengan menggunakan konsep segi delapan pada Gambar 4.4, maka koordinat titik-titiknya adalah berikut ini.

Untuk titik bawah: $T_A\left(\frac{s}{2}, -t, 0\right)$, $T_B\left(t, -\frac{s}{2}, 0\right)$, $T_C\left(t, \frac{s}{2}, 0\right)$, $T_D\left(\frac{s}{2}, t, 0\right)$, $T_E\left(-\frac{s}{2}, t, 0\right)$, $T_F\left(-t, \frac{s}{2}, 0\right)$, $T_G\left(-t, -\frac{s}{2}, 0\right)$, dan $T_H\left(-\frac{s}{2}, -t, 0\right)$ dengan $s = \frac{2 \sin 45^\circ}{\sin \frac{135^\circ}{2}}$ dan $t = \sqrt{2^2 - \left(\frac{s}{2}\right)^2}$.

Untuk titik atas: $T'_A\left(\frac{s}{2}, -t, h\right)$, $T'_B\left(t, -\frac{s}{2}, h\right)$, $T'_C\left(t, \frac{s}{2}, h\right)$, $T'_D\left(\frac{s}{2}, t, h\right)$, $T'_E\left(-\frac{s}{2}, t, h\right)$, $T'_F\left(-t, \frac{s}{2}, h\right)$, $T'_G\left(-t, -\frac{s}{2}, h\right)$, dan $T'_H\left(-\frac{s}{2}, -t, h\right)$ dengan $s = \frac{2 \sin 45^\circ}{\sin \frac{135^\circ}{2}}$ dan $t = \sqrt{2^2 - \left(\frac{s}{2}\right)^2}$.

Selanjutnya, untuk menentukan koordinat titik kontrol pada bagian deformasi seperti pada ilustrasi Gambar 4.4, terlebih dahulu ditentukan titik tengah dari $\overline{T_A T_B}$, $\overline{T_C T_D}$, $\overline{T_E T_F}$, $\overline{T_G T_H}$, $\overline{T'_A T'_B}$, $\overline{T'_C T'_D}$, $\overline{T'_E T'_F}$, dan $\overline{T'_G T'_H}$ yaitu sebagai berikut.

$T_{AB}\left(\frac{\frac{s}{2}+t}{2}, \frac{-t-\frac{s}{2}}{2}, 0\right)$, $T_{CD}\left(\frac{t+\frac{s}{2}}{2}, \frac{\frac{s}{2}+t}{2}, 0\right)$, $T_{EF}\left(\frac{-\frac{s}{2}-t}{2}, \frac{t+\frac{s}{2}}{2}, 0\right)$, $T_{GH}\left(\frac{-t-\frac{s}{2}}{2}, \frac{\frac{s}{2}-t}{2}, 0\right)$, $T'_{AB}\left(\frac{\frac{s}{2}+t}{2}, \frac{-t-\frac{s}{2}}{2}, h\right)$, $T'_{CD}\left(\frac{t+\frac{s}{2}}{2}, \frac{\frac{s}{2}+t}{2}, h\right)$, $T'_{EF}\left(\frac{-\frac{s}{2}-t}{2}, \frac{t+\frac{s}{2}}{2}, h\right)$, dan $T'_{GH}\left(\frac{-t-\frac{s}{2}}{2}, \frac{\frac{s}{2}-t}{2}, h\right)$.

Kemudian titik-titik tersebut dilatasi untuk menentukan titik kontrol bagian deformasi dengan skala $k = 0,8$ untuk model cekung dan $k = 1,2$ untuk model cembung, serta bertumpu di $P(0,0,z)$. Dari proses dilatasi ini, diperoleh koordinat titik kontrol sebagai berikut.

Untuk model cekung: $T_{AB1}\left(\frac{0,8\left(\frac{s}{2}+t\right)}{2}, \frac{0,8\left(-t-\frac{s}{2}\right)}{2}, 0\right)$, $T_{CD1}\left(\frac{0,8\left(t+\frac{s}{2}\right)}{2}, \frac{0,8\left(\frac{s}{2}+t\right)}{2}, 0\right)$, $T_{EF1}\left(\frac{0,8\left(-\frac{s}{2}-t\right)}{2}, \frac{0,8\left(t+\frac{s}{2}\right)}{2}, 0\right)$, $T_{GH1}\left(\frac{0,8\left(-t-\frac{s}{2}\right)}{2}, \frac{0,8\left(\frac{s}{2}-t\right)}{2}, 0\right)$, $T'_{AB1}\left(\frac{0,8\left(\frac{s}{2}+t\right)}{2}, \frac{0,8\left(-t-\frac{s}{2}\right)}{2}, h\right)$, $T'_{CD1}\left(\frac{0,8\left(t+\frac{s}{2}\right)}{2}, \frac{0,8\left(\frac{s}{2}+t\right)}{2}, h\right)$, $T'_{EF1}\left(\frac{0,8\left(-\frac{s}{2}-t\right)}{2}, \frac{0,8\left(t+\frac{s}{2}\right)}{2}, h\right)$, dan $T'_{GH1}\left(\frac{0,8\left(-t-\frac{s}{2}\right)}{2}, \frac{0,8\left(\frac{s}{2}-t\right)}{2}, h\right)$.

Untuk model cembung: $T_{AB2} \left(\frac{1,2(\frac{s}{2}+t)}{2}, \frac{1,2(-t-\frac{s}{2})}{2}, 0 \right)$, $T_{CD2} \left(\frac{1,2(\frac{s}{2}+t)}{2}, \frac{1,2(\frac{s}{2}+t)}{2}, 0 \right)$, $T_{EF2} \left(\frac{1,2(-\frac{s}{2}-t)}{2}, \frac{1,2(\frac{s}{2}+t)}{2}, 0 \right)$, $T_{GH2} \left(\frac{1,2(-t-\frac{s}{2})}{2}, \frac{1,2(-\frac{s}{2}-t)}{2}, 0 \right)$, $T'_{AB2} \left(\frac{1,2(\frac{s}{2}+t)}{2}, \frac{1,2(-t-\frac{s}{2})}{2}, h \right)$, $T'_{CD2} \left(\frac{1,2(\frac{s}{2}+t)}{2}, \frac{1,2(\frac{s}{2}+t)}{2}, h \right)$, $T'_{EF2} \left(\frac{1,2(-\frac{s}{2}-t)}{2}, \frac{1,2(\frac{s}{2}+t)}{2}, h \right)$, dan $T'_{GH2} \left(\frac{1,2(-t-\frac{s}{2})}{2}, \frac{1,2(-\frac{s}{2}-t)}{2}, h \right)$.

b. Menentukan deformasi

Untuk membuat model cekung dan cembung pada prisma segi delapan, maka beberapa rusuk dari prisma segi delapan dideformasi dengan kurva Bezier kuadratik. Rusuk yang dideformasi tersebut menjadi kurva sebagai berikut.

Kurva C_{AB} : deformasi rusuk $\overline{T_A T_B}$ dengan titik kontrol kelengkungan T_{AB1} (cekung) atau T_{AB2} (cembung).

Kurva C_{CD} : deformasi rusuk $\overline{T_C T_D}$ dengan titik kontrol kelengkungan T_{CD1} (cekung) atau T_{CD2} (cembung).

Kurva C_{EF} : deformasi rusuk $\overline{T_E T_F}$ dengan titik kontrol kelengkungan T_{EF1} (cekung) atau T_{EF2} (cembung).

Kurva C_{GH} : deformasi rusuk $\overline{T_G T_H}$ dengan titik kontrol kelengkungan T_{GH1} (cekung) atau T_{GH2} (cembung).

Kurva C'_{AB} : deformasi rusuk $\overline{T'_A T'_B}$ dengan titik kontrol kelengkungan T'_{AB1} (cekung) atau T'_{AB2} (cembung).

Kurva C'_{CD} : deformasi rusuk $\overline{T'_C T'_D}$ dengan titik kontrol kelengkungan T'_{CD1} (cekung) atau T'_{CD2} (cembung).

Kurva C'_{EF} : deformasi rusuk $\overline{T'_E T'_F}$ dengan titik kontrol kelengkungan T'_{EF1} (cekung) atau T'_{EF2} (cembung).

Kurva C'_{GH} : deformasi rusuk $\overline{T'_G T'_H}$ dengan titik kontrol kelengkungan T'_{GH1} (cekung) atau T'_{GH2} (cembung).

Persamaan parametrik dari kurva-kurva Bezier di atas untuk model cekung dituliskan sebagai berikut.

$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle (1-u)^2 \left(\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(\frac{s}{2}+t)}{2}\right) + u^2(t), (1-u)^2(-t) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(-t-\frac{s}{2})}{2}\right) + u^2\left(-\frac{s}{2}\right), (1-u)^2(0) + 2(1-u)u(0) + u^2(0) \rangle,$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle (1-u)^2(t) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(t+\frac{s}{2})}{2}\right) + u^2\left(\frac{s}{2}\right), (1-u)^2\left(\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(\frac{s}{2}+t)}{2}\right) + u^2(t), (1-u)^2(0) + 2(1-u)u(0) + u^2(0) \rangle,$$

$$\langle x_c, y_c, z_c \rangle = \langle (1-u)^2\left(-\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(-\frac{s}{2}-t)}{2}\right) + u^2(-t), (1-u)^2(t) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(t+\frac{s}{2})}{2}\right) + u^2\left(\frac{s}{2}\right), (1-u)^2(0) + 2(1-u)u(0) + u^2(0) \rangle,$$

$$\langle x_d, y_d, z_d \rangle = \langle (1-u)^2(-t) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(-t-\frac{s}{2})}{2}\right) + u^2\left(-\frac{s}{2}\right), (1-u)^2\left(-\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(-\frac{s}{2}-t)}{2}\right) + u^2(-t), (1-u)^2(0) + 2(1-u)u(0) + u^2(0) \rangle,$$

$$\langle x_e, y_e, z_e \rangle = \langle (1-u)^2\left(\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(\frac{s}{2}+t)}{2}\right) + u^2(t), (1-u)^2(-t) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(-t-\frac{s}{2})}{2}\right) + u^2\left(-\frac{s}{2}\right), (1-u)^2(h) + 2(1-u)u(h) + u^2(h) \rangle,$$

$$\langle x_f, y_f, z_f \rangle = \langle (1-u)^2(t) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(t+\frac{s}{2})}{2}\right) + u^2\left(\frac{s}{2}\right), (1-u)^2\left(\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(\frac{s}{2}+t)}{2}\right) + u^2(t), (1-u)^2(h) + 2(1-u)u(h) + u^2(h) \rangle,$$

$$\langle x_g, y_g, z_g \rangle = \langle (1-u)^2\left(-\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(-\frac{s}{2}-t)}{2}\right) + u^2(-t), (1-u)^2(t) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(t+\frac{s}{2})}{2}\right) + u^2\left(\frac{s}{2}\right), (1-u)^2(h) + 2(1-u)u(h) + u^2(h) \rangle,$$

$$\langle x_h, y_h, z_h \rangle = \langle (1-u)^2(-t) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(-t-\frac{s}{2})}{2}\right) + u^2\left(-\frac{s}{2}\right), (1-u)^2\left(-\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(-\frac{s}{2}-t)}{2}\right) + u^2(-t), (1-u)^2(h) + 2(1-u)u(h) + u^2(h) \rangle,$$

dengan $0 \leq u \leq 1$.

Selanjutnya, persamaan parametrik dari kurva-kurva Bezier untuk model cembung dituliskan sebagai berikut.

$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle (1-u)^2 \left(\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2\left(\frac{s}{2}+t\right)}{2}\right) + u^2(t), (1-u)^2(-t) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2\left(-t-\frac{s}{2}\right)}{2}\right) + u^2\left(-\frac{s}{2}\right), (1-u)^2(0) + 2(1-u)u(0) + u^2(0) \rangle,$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle (1-u)^2(t) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2\left(t+\frac{s}{2}\right)}{2}\right) + u^2\left(\frac{s}{2}\right), (1-u)^2\left(\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2\left(\frac{s}{2}+t\right)}{2}\right) + u^2(t), (1-u)^2(0) + 2(1-u)u(0) + u^2(0) \rangle,$$

$$\langle x_c, y_c, z_c \rangle = \langle (1-u)^2\left(-\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2\left(-\frac{s}{2}-t\right)}{2}\right) + u^2(-t), (1-u)^2(t) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2\left(t+\frac{s}{2}\right)}{2}\right) + u^2\left(\frac{s}{2}\right), (1-u)^2(0) + 2(1-u)u(0) + u^2(0) \rangle,$$

$$\langle x_d, y_d, z_d \rangle = \langle (1-u)^2(-t) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2\left(-t-\frac{s}{2}\right)}{2}\right) + u^2\left(-\frac{s}{2}\right), (1-u)^2\left(-\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2\left(-\frac{s}{2}-t\right)}{2}\right) + u^2(-t), (1-u)^2(0) + 2(1-u)u(0) + u^2(0) \rangle,$$

$$\langle x_e, y_e, z_e \rangle = \langle (1-u)^2\left(\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2\left(\frac{s}{2}+t\right)}{2}\right) + u^2(t), (1-u)^2(-t) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2\left(-t-\frac{s}{2}\right)}{2}\right) + u^2\left(-\frac{s}{2}\right), (1-u)^2(h) + 2(1-u)u(h) + u^2(h) \rangle,$$

$$\langle x_f, y_f, z_f \rangle = \langle (1-u)^2(t) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2\left(t+\frac{s}{2}\right)}{2}\right) + u^2\left(\frac{s}{2}\right), (1-u)^2\left(\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2\left(\frac{s}{2}+t\right)}{2}\right) + u^2(t), (1-u)^2(h) + 2(1-u)u(h) + u^2(h) \rangle,$$

$$\langle x_g, y_g, z_g \rangle = \langle (1-u)^2\left(-\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2\left(-\frac{s}{2}-t\right)}{2}\right) + u^2(-t), (1-u)^2(t) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2\left(t+\frac{s}{2}\right)}{2}\right) + u^2\left(\frac{s}{2}\right), (1-u)^2(h) + 2(1-u)u(h) + u^2(h) \rangle,$$

$$\langle x_h, y_h, z_h \rangle = \langle (1-u)^2(-t) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2\left(-t-\frac{s}{2}\right)}{2}\right) + u^2\left(-\frac{s}{2}\right), (1-u)^2\left(-\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2\left(-\frac{s}{2}-t\right)}{2}\right) + u^2(-t), (1-u)^2(h) + 2(1-u)u(h) + u^2(h) \rangle,$$

dengan $0 \leq u \leq 1$.

c. Membangun sisi

Sisi-sisi dari prisma dibangun menggunakan teknik interpolasi linier dari pasangan dua segmen atau kurva Bezier untuk bagian deformasi. Persamaan parametrik dari interpolasi tersebut antara lain sebagai berikut.

1) Bagian tetap

Pasangan yang diinterpolasi yaitu $\overline{T_B T_C}$ dengan $\overline{T'_B T'_C}$, $\overline{T_D T_E}$ dengan $\overline{T'_D T'_E}$, $\overline{T_F T_G}$ dengan $\overline{T'_F T'_G}$, dan $\overline{T_H T_A}$ dengan $\overline{T'_H T'_A}$.

$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle (1-v)((1-u)(t) + u(t)) + v((1-u)(t) + u(t)), (1-v)\left((1-u)\left(-\frac{s}{2}\right) + u\left(\frac{s}{2}\right)\right) + v\left((1-u)\left(-\frac{s}{2}\right) + u\left(\frac{s}{2}\right)\right), (1-v)((1-u)(0) + u(0)) + v((1-u)(h) + u(h)) \rangle,$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle (1-v)\left((1-u)\left(\frac{s}{2}\right) + u\left(-\frac{s}{2}\right)\right) + v\left((1-u)\left(\frac{s}{2}\right) + u\left(-\frac{s}{2}\right)\right), (1-v)((1-u)(t) + u(t)) + v((1-u)(t) + u(t)), (1-v)((1-u)(0) + u(0)) + v((1-u)(h) + u(h)) \rangle,$$

$$\langle x_c, y_c, z_c \rangle = \langle (1-v)((1-u)(-t) + u(-t)) + v((1-u)(-t) + u(-t)), (1-v)\left((1-u)\left(\frac{s}{2}\right) + u\left(-\frac{s}{2}\right)\right) + v\left((1-u)\left(\frac{s}{2}\right) + u\left(-\frac{s}{2}\right)\right), (1-v)((1-u)(0) + u(0)) + v((1-u)(h) + u(h)) \rangle,$$

$$\langle x_d, y_d, z_d \rangle = \langle (1-v)\left((1-u)\left(-\frac{s}{2}\right) + u\left(\frac{s}{2}\right)\right) + v\left((1-u)\left(-\frac{s}{2}\right) + u\left(\frac{s}{2}\right)\right), (1-v)((1-u)(-t) + u(-t)) + v((1-u)(-t) + u(-t)), (1-v)((1-u)(0) + u(0)) + v((1-u)(h) + u(h)) \rangle,$$

dengan $0 \leq u, v \leq 1$.

2) Bagian deformasi model prisma segidelapan

Pasangan yang diinterpolasi yaitu $\overline{T_A T_B}$ dengan $\overline{T'_A T'_B}$, $\overline{T_C T_D}$ dengan $\overline{T'_C T'_D}$, $\overline{T_E T_F}$ dengan $\overline{T'_E T'_F}$, dan $\overline{T_G T_H}$ dengan $\overline{T'_G T'_H}$.

$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle (1-v)\left((1-u)\left(\frac{s}{2}\right) + u(t)\right) + v\left((1-u)\left(\frac{s}{2}\right) + u(t)\right), (1-v)\left((1-u)(-t) + u\left(-\frac{s}{2}\right)\right) + v\left((1-u)(-t) + u\left(-\frac{s}{2}\right)\right), (1-v)((1-u)(0) + u(0)) + v((1-u)(h) + u(h)) \rangle,$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle (1-v) \left((1-u)(t) + u\left(\frac{s}{2}\right) \right) + v \left((1-u)(t) + u\left(\frac{s}{2}\right) \right), (1-v) \left((1-u) \left(\frac{s}{2}\right) + u(t) \right) + v \left((1-u) \left(\frac{s}{2}\right) + u(t) \right), (1-v) \left((1-u)(0) + u(0) \right) + v \left((1-u)(h) + u(h) \right) \rangle,$$

$$\langle x_c, y_c, z_c \rangle = \langle (1-v) \left((1-u) \left(-\frac{s}{2}\right) + u(-t) \right) + v \left((1-u) \left(-\frac{s}{2}\right) + u(-t) \right), (1-v) \left((1-u)(t) + u(s/2) \right) + v \left((1-u)(t) + u(s/2) \right), (1-v) \left((1-u)(0) + u(0) \right) + v \left((1-u)(h) + u(h) \right) \rangle,$$

$$\langle x_d, y_d, z_d \rangle = \langle (1-v) \left((1-u)(-t) + u\left(-\frac{s}{2}\right) \right) + v \left((1-u)(-t) + u(-s/2) \right), (1-v) \left((1-u) \left(-\frac{s}{2}\right) + u(-t) \right) + v \left((1-u) \left(-\frac{s}{2}\right) + u(-t) \right), (1-v) \left((1-u)(0) + u(0) \right) + v \left((1-u)(h) + u(h) \right) \rangle,$$

dengan $0 \leq u, v \leq 1$.

3) Bagian deformasi model cekung

Pasangan yang diinterpolasi yaitu C_{AB} dengan C'_{AB} , C_{CD} dengan C'_{CD} , C_{DE} dengan C'_{DE} , dan C_{GH} dengan C'_{GH} .

$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle (1-v) \left((1-u)^2 \left(\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(\frac{s}{2}+t)}{2}\right) + u^2(t) \right) + v \left((1-u)^2 \left(\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(\frac{s}{2}+t)}{2}\right) + u^2(t) \right), (1-v) \left((1-u)^2(-t) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(-t-\frac{s}{2})}{2}\right) + u^2\left(-\frac{s}{2}\right) \right) + v \left((1-u)^2(-t) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(-t-\frac{s}{2})}{2}\right) + u^2\left(-\frac{s}{2}\right) \right), (1-v) \left((1-u)^2(0) + 2(1-u)u(0) + u^2(0) \right) + v \left((1-u)^2(h) + 2(1-u)u(h) + u^2(h) \right) \rangle,$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle (1-v) \left((1-u)^2(t) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(t+\frac{s}{2})}{2}\right) + u^2\left(\frac{s}{2}\right) \right) + v \left((1-u)^2(t) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(t+\frac{s}{2})}{2}\right) + u^2\left(\frac{s}{2}\right) \right), (1-v) \left((1-u)^2 \left(\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(\frac{s}{2}+t)}{2}\right) + u^2(t) \right) + v \left((1-u)^2 \left(\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(\frac{s}{2}+t)}{2}\right) + u^2(t) \right), (1-v) \left((1-u)^2(0) + 2(1-u)u(0) + u^2(0) \right) + v \left((1-u)^2(h) + 2(1-u)u(h) + u^2(h) \right) \rangle,$$

$$\begin{aligned} \langle x_c, y_c, z_c \rangle = & \langle (1-v) \left((1-u)^2 \left(-\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(-\frac{s}{2}-t)}{2}\right) + u^2(-t) \right) + v \left((1-u)^2 \left(-\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(-\frac{s}{2}-t)}{2}\right) + u^2(-t) \right), \\ & (1-v) \left((1-u)^2(t) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(t+\frac{s}{2})}{2}\right) + u^2\left(\frac{s}{2}\right) \right) + v \left((1-u)^2(t) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(t+\frac{s}{2})}{2}\right) + u^2\left(\frac{s}{2}\right) \right), \\ & (1-v) \left((1-u)^2(0) + 2(1-u)u(0) + u^2(0) \right) + v \left((1-u)^2(h) + 2(1-u)u(h) + u^2(h) \right) \rangle, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \langle x_d, y_d, z_d \rangle = & \langle (1-v) \left((1-u)^2(-t) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(-t-\frac{s}{2})}{2}\right) + u^2\left(-\frac{s}{2}\right) \right) + v \left((1-u)^2(-t) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(-t-\frac{s}{2})}{2}\right) + u^2\left(-\frac{s}{2}\right) \right), \\ & (1-v) \left((1-u)^2 \left(-\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(-\frac{s}{2}-t)}{2}\right) + u^2(-t) \right) + v \left((1-u)^2 \left(-\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{0,8(-\frac{s}{2}-t)}{2}\right) + u^2(-t) \right), \\ & (1-v) \left((1-u)^2(0) + 2(1-u)u(0) + u^2(0) \right) + v \left((1-u)^2(h) + 2(1-u)u(h) + u^2(h) \right) \rangle, \end{aligned}$$

dengan $0 \leq u, v \leq 1$.

4) Bagian deformasi model cembung

Pasangan yang diinterpolasi yaitu C_{AB} dengan C'_{AB} , C_{CD} dengan C'_{CD} , C_{DE} dengan C'_{DE} , dan C_{GH} dengan C'_{GH} .

$$\begin{aligned} \langle x_a, y_a, z_a \rangle = & \langle (1-v) \left((1-u)^2 \left(\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2(\frac{s}{2}+t)}{2}\right) + u^2(t) \right) + v \left((1-u)^2 \left(\frac{s}{2}\right) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2(\frac{s}{2}+t)}{2}\right) + u^2(t) \right), \\ & (1-v) \left((1-u)^2(-t) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2(-t-\frac{s}{2})}{2}\right) + u^2\left(-\frac{s}{2}\right) \right) + v \left((1-u)^2(-t) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2(-t-\frac{s}{2})}{2}\right) + u^2\left(-\frac{s}{2}\right) \right), \\ & (1-v) \left((1-u)^2(0) + 2(1-u)u(0) + u^2(0) \right) + v \left((1-u)^2(h) + 2(1-u)u(h) + u^2(h) \right) \rangle, \end{aligned}$$

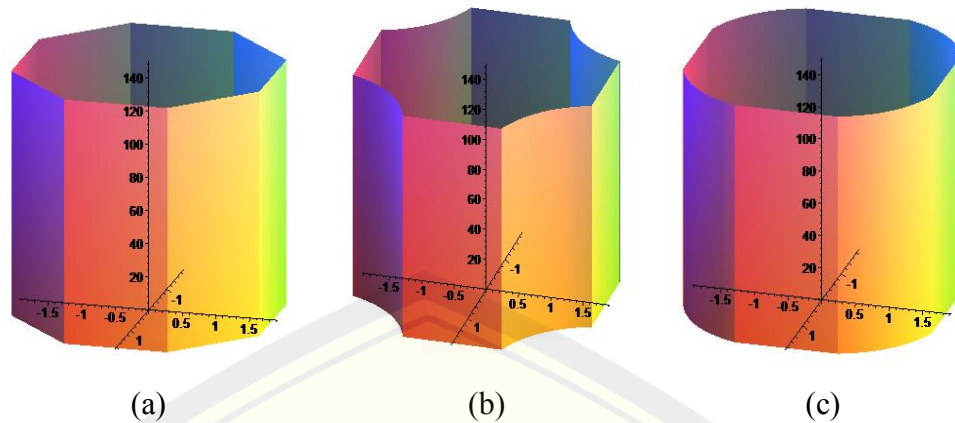
$$\begin{aligned} \langle x_b, y_b, z_b \rangle = & \langle (1-v) \left((1-u)^2(t) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2(t+\frac{s}{2})}{2} \right) + u^2 \left(\frac{s}{2} \right) \right) + v \left((1-u)^2(t) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2(t+\frac{s}{2})}{2} \right) + u^2 \left(\frac{s}{2} \right) \right), \\ & (1-v) \left((1-u)^2 \left(\frac{s}{2} \right) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2(\frac{s}{2}+t)}{2} \right) + u^2(t) \right) + v \left((1-u)^2 \left(\frac{s}{2} \right) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2(\frac{s}{2}+t)}{2} \right) + u^2(t) \right), \\ & (1-v) \left((1-u)^2(0) + 2(1-u)u(0) + u^2(0) \right) + v \left((1-u)^2(h) + 2(1-u)u(h) + u^2(h) \right) \rangle, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \langle x_c, y_c, z_c \rangle = & \langle (1-v) \left((1-u)^2 \left(-\frac{s}{2} \right) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2(-\frac{s}{2}-t)}{2} \right) + u^2(-t) \right) + v \left((1-u)^2 \left(-\frac{s}{2} \right) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2(-\frac{s}{2}-t)}{2} \right) + u^2(-t) \right), \\ & (1-v) \left((1-u)^2(t) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2(t+\frac{s}{2})}{2} \right) + u^2 \left(\frac{s}{2} \right) \right) + v \left((1-u)^2(t) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2(t+\frac{s}{2})}{2} \right) + u^2 \left(\frac{s}{2} \right) \right), \\ & (1-v) \left((1-u)^2(0) + 2(1-u)u(0) + u^2(0) \right) + v \left((1-u)^2(h) + 2(1-u)u(h) + u^2(h) \right) \rangle, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \langle x_d, y_d, z_d \rangle = & \langle (1-v) \left((1-u)^2(-t) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2(-t-\frac{s}{2})}{2} \right) + u^2 \left(-\frac{s}{2} \right) \right) + v \left((1-u)^2(-t) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2(-t-\frac{s}{2})}{2} \right) + u^2 \left(-\frac{s}{2} \right) \right), \\ & (1-v) \left((1-u)^2 \left(-\frac{s}{2} \right) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2(-\frac{s}{2}-t)}{2} \right) + u^2(-t) \right) + v \left((1-u)^2 \left(-\frac{s}{2} \right) + 2(1-u)u \left(\frac{1,2(-\frac{s}{2}-t)}{2} \right) + u^2(-t) \right), \\ & (1-v) \left((1-u)^2(0) + 2(1-u)u(0) + u^2(0) \right) + v \left((1-u)^2(h) + 2(1-u)u(h) + u^2(h) \right) \rangle, \end{aligned}$$

dengan $0 \leq u, v \leq 1$.

Dengan menggabungkan semua persamaan parametrik di atas, maka didapatkan bentuk badan tiang seperti pada Gambar 4.5. *Script* terdapat pada Lampiran 4.



(a) bentuk prisma segi delapan; (b) bentuk prisma segi delapan deformasi cekung; dan (c) bentuk prisma segi delapan deformasi cembung

Gambar 4.5 Badan tiang berbentuk prisma segi delapan

4.1.3 Modelisasi Mahkota Tiang

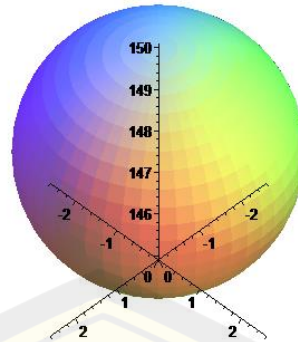
Dalam penelitian ini digunakan tiga model mahkota tiang, yaitu bentuk bola, kubah 1 lengkung, dan kubah 2 lengkung (lihat Gambar 3.3). Ukuran dari ketiga model tersebut yaitu diameter dalam interval $4 \leq d \leq 5$ cm dan tinggi $h = 5$ cm. Berikut ini langkah-langkah yang dilaksanakan dalam memodelisasikan masing-masing bentuk mahkota tiang tersebut.

a. Mahkota tiang model bola

Untuk memodelisasikan bagian mahkota tiang yang berbentuk bola, maka dalam penelitian ini digunakan persamaan bola. Namun, terlebih dahulu ditentukan titik pusat dan jari-jarinya. Berdasarkan ukuran yang diinginkan, maka jari-jari dari bola adalah 2,5 cm. Mahkota tiang berada di ujung teratas badan tiang, sehingga titik pusat bola berada di titik tengah ujung badan tiang tersebut, yaitu di $P(0, 0, h_t)$ dengan h_t adalah tinggi badan tiang ($145 \leq h_t \leq 150$ cm). Dari jari-jari dan titik pusat bola, dapat dibentuk persamaan parametrik sebagai berikut.

$$\langle x, y, z \rangle = \langle 2,5 \sin(u) \cos(v), 2,5 \sin(u) \sin(v), 2,5 \cos(u) + h_t \rangle$$

dengan $0 \leq u, v \leq 2\pi$. Hasil modelisasi yang didapatkan dari persamaan parametrik tersebut ditampilkan pada Gambar 4.6 berikut. *Script* terdapat pada Lampiran 6.



Gambar 4.6 Mahkota tiang bentuk bola

b. Mahkota tiang model kubah 1 lengkung

Model mahkota tiang yang ini dibuat menggunakan permukaan putar kurva Bezier kubik. Untuk membuat mahkota tiang dengan model kubah 1 lengkung, dilakukan prosedur sebagai berikut.

1) Menentukan koordinat titik

Kurva Bezier kubik membutuhkan empat titik kontrol yang dua di antaranya sebagai titik ujung kurva. Koordinat yang digunakan untuk kurva tersebut antara lain: $P_0(1,5, 1,5, h_t - 2,5)$, $P_1(3,5, 3,5, h_t)$, $P_2(1, 1, h_t + 1,5)$, dan $P_3(0, 0, h_t + 2,5)$ dengan h_t adalah tinggi tiang.

2) Menentukan persamaan kurva Bezier

Berdasarkan titik-titik tersebut, maka persamaan parametrik kurva Bezier yang diperoleh yaitu

$$\langle x, y, z \rangle = \langle (1-u)^3(1,5) + 3(1-u)^2u(3,5) + 3(1-u)u^2(1) + u^3(0), \\ (1-u)^3(1,5) + 3(1-u)^2u(3,5) + 3(1-u)u^2(1) + u^3(0), \\ (1-u)^3(h_t - 2,5) + 3(1-u)^2u(h_t) + 3(1-u)u^2(h_t + 1,5) + u^3(h_t + 2,5) \rangle$$

dengan $0 \leq u \leq 1$.

3) Menentukan persamaan permukaan putar kurva Bezier

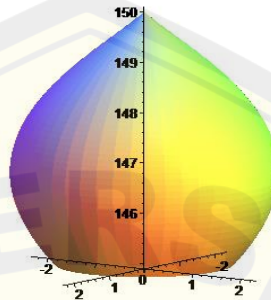
Kurva Bezier yang dibangun dengan persamaan pada langkah sebelumnya, diputar mengelilingi sumbu z. Oleh karena tu, persamaan parametrik yang tersebut yaitu

$$\langle x, y, z \rangle = \langle ((1-u)^3(1,5) + 3(1-u)^2u(3,5) + 3(1-u)u^2(1) + u^3(0)) \cos(\theta), \\ ((1-u)^3(1,5) + 3(1-u)^2u(3,5) + 3(1-u)u^2(1) + u^3(0)) \sin(\theta), \\ (1-u)^3(h_t - 2,5) + 3(1-u)^2u(h_t) + 3(1-u)u^2(h_t + 1,5) + u^3(h_t + 2,5) \rangle$$

$$u)u^2(1) + u^3(0)) \sin(\theta), (1 - u)^3(h_t - 2,5) + 3(1 - u)^2u(h_t) + 3(1 - u)u^2(h_t + 1,5) + u^3(h_t + 2,5))$$

dengan $0 \leq u \leq 1$ dan $0 \leq \theta \leq 2\pi$.

Dari ketiga langkah-langkah di atas, diperoleh bentuk mahkota tiang pada Gambar 4.7 berikut. *Script* terdapat pada Lampiran 6.



Gambar 4.7 Mahkota tiang model kubah 1 lengkung

c. Mahkota tiang model kubah 2 lengkung

Model mahkota tiang berbentuk kubah 2 lengkung ini dibuat menggunakan permukaan putar kurva Bezier kuadratik (bagian bawah) dan kurva Bezier kubik (bagian atas). Untuk membuat mahkota tiang dengan model kubah 2 lengkung, dilakukan prosedur sebagai berikut.

1) Menentukan koordinat titik

Kurva Bezier kuadratik membutuhkan tiga titik kontrol, sedangkan kurva Bezier kubik membutuhkan empat titik kontrol. Koordinat yang digunakan untuk kurva Bezier kuadratik antara lain: $P_{0A}(1,5, 1,5, h_t - 2,5)$, $P_{1A}(3,5, 3,5, h_t - 2)$, dan $P_{2A}(2, 2, h_t - 1,5)$ dengan h_t adalah tinggi tiang. Kemudian, koordinat yang digunakan untuk kurva Bezier kubik antara lain: $P_{0B}(2, 2, h_t - 1,5)$, $P_{1B}(3,5, 3,5, h_t + 0,5)$, $P_{2B}(0, 0, h_t + 1,5)$, dan $P_{3B}(0, 0, h_t + 2,5)$ dengan h_t adalah tinggi tiang

2) Menentukan persamaan kurva Bezier

Berdasarkan titik-titik tersebut, maka persamaan parametrik kurva Bezier yang diperoleh yaitu

$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle (1 - u)^2(1,5) + 2(1 - u)u(3,5) + u^2(2), (1 - u)^2(1,5) + 2(1 - u)u(3,5) + u^2(2), (1 - u)^2(h_t - 2,5) + 2(1 - u)u(h_t - 2) + u^2(h_t - 1,5) \rangle$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle (1-u)^3(1,5) + 3(1-u)^2u(3,5) + 3(1-u)u^2(0) + u^3(0), (1-u)^3(1,5) + 3(1-u)^2u(3,5) + 3(1-u)u^2(0) + u^3(0), (1-u)^3(h_t - 1,5) + 3(1-u)^2u(h_t + 0,5) + 3(1-u)u^2(h_t + 1,5) + u^3(h_t + 2,5) \rangle$$

dengan $0 \leq u \leq 1$.

3) Menentukan persamaan permukaan putar kurva Bezier

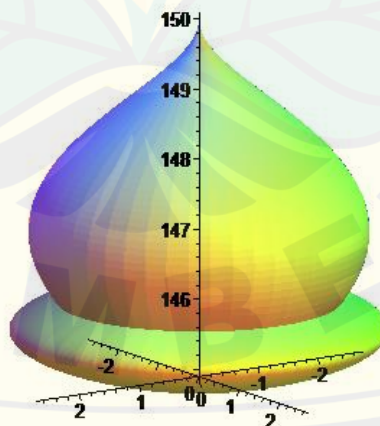
Kurva Bezier yang dibangun dengan persamaan pada langkah sebelumnya, diputar mengelilingi sumbu z. Oleh karena tu, persamaan parametrik yang tersebut yaitu

$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle ((1-u)^2(1,5) + 2(1-u)u(3,5) + u^2(2)) \cos(\theta), ((1-u)^2(1,5) + 2(1-u)u(3,5) + u^2(2)) \sin(\theta), (1-u)^2(h_t - 2,5) + 2(1-u)u(h_t - 2) + u^2(h_t - 1,5) \rangle$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle ((1-u)^3(1,5) + 3(1-u)^2u(3,5) + 3(1-u)u^2(0) + u^3(0)) \cos(\theta), ((1-u)^3(1,5) + 3(1-u)^2u(3,5) + 3(1-u)u^2(0) + u^3(0)) \sin(\theta), (1-u)^3(h_t - 1,5) + 3(1-u)^2u(h_t + 0,5) + 3(1-u)u^2(h_t + 1,5) + u^3(h_t + 2,5) \rangle$$

dengan $0 \leq u \leq 1$ dan $0 \leq \theta \leq 2\pi$.

Dari ketiga langkah-langkah di atas, diperoleh bentuk mahkota tiang pada Gambar 4.8 berikut. *Script* terdapat pada Lampiran 6.



Gambar 4.8 Mahkota tiang model kubah 2 lengkung

4.1.4 Modelisasi Gantungan Atas

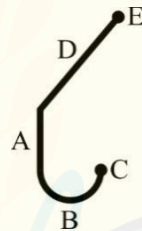
Sesuai deskripsi yang telah diuraikan di Bab 3, terdapat dua model yang dibuat dalam penelitian ini untuk gantungan atas (lihat Gambar 3.4). Kedua model ini pada penerapannya dikonstruksikan menggunakan pipa besi yang dilengkungkan atau dibelokkan, serta terdapat bulatan pada bagian ujungnya. Oleh karena itu, benda geometri yang digunakan untuk memodelkan gantungan atas adalah tabung, torus, dan bola. Prosedur yang dilakukan dalam memodelisasikan kedua model gantungan atas adalah sebagai berikut.

a. Gantungan atas model 1

Langkah-langkah untuk mengkonstruksi gantungan atas model 1 antara lain yaitu:

1) Menentukan bagian dan ukurannya

Gantungan atas model 1 ini dibagi menjadi lima bagian yaitu bagian A, bagian B, bagian C, bagian D, dan bagian E yang ditunjukkan pada Gambar 4.9 berikut.



Gambar 4.9 Bagian-bagian gantungan atas model 1

Bagian A merupakan bagian vertikal yang dibangun menggunakan persamaan tabung dengan jari-jari $r_A = 0,6$ cm dan tinggi $h_A = 8$ cm. Bagian B merupakan bagian lengkung di bawah yang dikonstruksikan menggunakan persamaan setengah torus dengan jari-jari $r_B = 0,6$ cm, jarak pusat torus ke pusat lingkaran torus $R_B = 4$ cm, dan sudut perputaran torus $\pi \leq \theta \leq 2\pi$. Bagian C merupakan bagian bulatan pada ujung bawah dan dibangun dengan persamaan bola yang jari-jarinya $r_C = 0,75$ cm. Bagian D merupakan bagian miring yang dimodelisasikan dengan persamaan tabung terotasi yang jari-jarinya $r_D = 0,6$ cm, tinggi $h_B = 16$ cm, dan besar sudut rotasi 40° . Bagian E merupakan bagian bulatan pada ujung atas yang dibangun dari persamaan bola dengan $r_E = 0,75$ cm. Pada bagian

sambungan model A dan D diberikan potongan bola dengan Persamaan (2.19) dengan $0 \leq \theta \leq 2\pi$ dan $\frac{7\pi}{9} \leq \alpha \leq \pi$.

2) Menentukan koordinat titik

Gantungan atas dimodelkan menempel pada badan tiang dan untuk masing-masing arah terdapat satu model, yaitu sumbu x positif, sumbu x negatif, sumbu y positif, dan sumbu y negatif. Oleh karena itu, penentuan koordinat titik harus dibuat untuk setiap arah, yang antara lain sebagai berikut.

a) Sumbu x positif

Pusat tabung untuk memodelkan bagian A berada di titik $P_{A1}(t + 0,6, 0, 132)$. Pusat torus untuk bagian B terletak di titik $P_{B1}(t + 4,6, 0, 132)$. Bola untuk bagian C berpusat di titik $P_{C1}(t + 8,6, 0, 132)$. Untuk bagian D, titik yang digunakan sebagai pusat tabung dan pusat rotasi adalah $P_{D1}(t + 0,6, 0, 140)$. Bagian E berada di ujung atas tabung bagian D yang telah terotasi, sehingga titik pusat bola juga berada di titik yang dirotasi, yaitu di $P_{E1}(16 \sin 40^\circ + t + 0,6, 0, 16 \cos 40^\circ + 140)$, bagian penghubung terletak pada titik $P(t + 0,6, 0, 140)$. Nilai t di atas merupakan jarak terdekat sisi datar prisma badan tiang terhadap sumbu z yang dapat diperoleh dari Gambar 4.4 pada Subsubbab 4.1.2.

b) Sumbu x negatif

Pusat tabung untuk memodelkan bagian A berada di titik $P_{A2}(-t - 0,6, 0, 132)$. Pusat torus untuk bagian B terletak di titik $P_{B2}(-t - 4,6, 0, 132)$. Untuk bagian D, titik yang digunakan sebagai pusat tabung dan pusat rotasi adalah $P_{D2}(-t - 0,6, 0, 140)$. Bagian E berada di ujung atas tabung bagian D yang telah terotasi, sehingga titik pusat bola juga berada di titik yang dirotasi, yaitu di $P_{E2}(-16 \sin 40^\circ - t - 0,6, 0, 16 \cos 40^\circ + 140)$, bagian penghubung terletak pada titik $P(-t - 0,6, 0, 140)$. Nilai t di atas merupakan jarak terdekat sisi datar prisma badan tiang terhadap sumbu z yang dapat diperoleh dari Gambar 4.4 pada Subsubbab 4.1.2.

c) Sumbu y positif

Pusat tabung untuk memodelkan bagian A berada di titik $P_{A2}(0, t + 0,6, 132)$. Pusat torus untuk bagian B terletak di titik $P_{B3}(0, t + 4,6, 132)$. Untuk bagian D, titik yang digunakan sebagai pusat tabung dan pusat rotasi adalah $P_{D3}(0, t + 0,6, 140)$. Bagian E berada di ujung atas tabung bagian D yang telah terotasi, sehingga titik pusat bola juga berada di titik yang dirotasi, yaitu di $P_{E3}(0, 16 \sin 40^\circ + t + 0,6, 16 \cos 40^\circ + 140)$, bagian penghubung terletak pada titik $P(0 + t + 0,6, 140)$. Nilai t di atas merupakan jarak terdekat sisi datar prisma badan tiang terhadap sumbu z yang dapat diperoleh dari Gambar 4.4 pada Subsubbab 4.1.2.

d) Sumbu y negatif

Pusat tabung untuk memodelkan bagian A berada di titik $P_{A4}(0, -t - 0,6, 132)$. Pusat torus untuk bagian B terletak di titik $P_{B4}(0, -t - 4,6, 132)$. Untuk bagian D, titik yang digunakan sebagai pusat tabung dan pusat rotasi adalah $P_{D4}(0, -t - 0,6, 140)$. Bagian E berada di ujung atas tabung bagian D yang telah terotasi, sehingga titik pusat bola juga berada di titik yang dirotasi, yaitu di $P_{E4}(0, -16 \sin 40^\circ - t - 0,6, 16 \cos 40^\circ + 140)$, bagian penghubung terletak pada titik $P(0 - t - 0,6, 140)$. Nilai t di atas merupakan jarak terdekat sisi datar prisma badan tiang terhadap sumbu z yang dapat diperoleh dari Gambar 4.4 pada Subsubbab 4.1.2.

3) Menentukan persamaan parametrik

Pada langkah ini, koordinat-koordinat titik yang telah ditentukan dan ukuran setiap bagian disubstitusikan ke persamaan parametrik tabung, torus, atau bola sesuai yang dibutuhkan. Persamaan parametrik yang dihasilkan antara lain sebagai berikut.

a) Sumbu x positif

Persamaan parametrik untuk bagian A sampai bagian E pada sumbu x positif berturut-turut sebagai berikut.

$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle 0,6 \cos(\theta) + t + 0,6, 0,6 \sin(\theta), 8v + 132 \rangle \quad \text{dengan} \\ 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle (4 + 0,6 \cos(v)) \cos(\theta) + t + 4,6, 0,6 \sin(v), (4 + \\ 0,6 \cos(v)) \sin(\theta) + 132 \rangle \text{ dengan } \pi \leq \theta \leq 2\pi \text{ dan } 0 \leq \\ v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_c, y_c, z_c \rangle = \langle 0,75 \sin(u) \cos(v) + t + 8,6, 0,75 \sin(u) \sin(v), \\ 0,75 \cos(u) + 132 \rangle \text{ dengan } 0 \leq u, v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_d, y_d, z_d \rangle = \langle (0,6 \cos(\theta)) \cos(40^\circ) + (16v) \sin(40^\circ) + t + 0,6, \\ 0,6 \sin(\theta), -(0,6 \cos(\theta)) \sin(40^\circ) + (16v) \cos(40^\circ) + \\ 140 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_e, y_e, z_e \rangle = \langle 0,75 \sin(u) \cos(v) + 16 \sin(40^\circ) + t + 8,6, \\ 0,75 \sin(u) \sin(v), 0,75 \cos(u) + 16 \cos(40^\circ) + 140 \rangle \\ \text{dengan } 0 \leq u, v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_p, y_p, z_p \rangle = \langle 0,6 \sin(\alpha) \cos(\theta) + t + 0,6 \sin(\alpha) \cos(\theta), \\ 0,6 \cos(\alpha) + 140 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 2\pi \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

b) Sumbu x negatif

Persamaan parametrik untuk bagian A sampai bagian E pada sumbu x negatif berturut-turut sebagai berikut.

$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle 0,6 \cos(\theta) - t - 0,6, 0,6 \sin(\theta), 8v + 132 \rangle \quad \text{dengan} \\ 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle -(4 + 0,6 \cos(v)) \cos(\theta) - t - 4,6, 0,6 \sin(v), (4 + \\ 0,6 \cos(v)) \sin(\theta) + 132 \rangle \text{ dengan } \pi \leq \theta \leq 2\pi \text{ dan } 0 \leq \\ v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_c, y_c, z_c \rangle = \langle 0,75 \sin(u) \cos(v) - t - 8,6, 0,75 \sin(u) \sin(v), \\ 0,75 \cos(u) + 132 \rangle \text{ dengan } 0 \leq u, v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_d, y_d, z_d \rangle = \langle (0,6 \cos(\theta)) \cos(40^\circ) - (16v) \sin(40^\circ) - t - 0,6, \\ 0,6 \sin(\theta), (0,6 \cos(\theta)) \sin(40^\circ) + (16v) \cos(40^\circ) + \\ 140 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_e, y_e, z_e \rangle = \langle 0,75 \sin(u) \cos(v) - 16 \sin(40^\circ) - t - 8,6, \\ 0,75 \sin(u) \sin(v), 0,75 \cos(u) + 16 \cos(40^\circ) + 140 \rangle \\ \text{dengan } 0 \leq u, v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_p, y_p, z_p \rangle = \langle 0,6 \sin(\alpha) \cos(\theta) - t - 0,6 \sin(\alpha) \cos(\theta), \\ 0,6 \cos(\alpha) + 140 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 2\pi \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

c) Sumbu y positif

Persamaan parametrik untuk bagian A sampai bagian E pada sumbu y positif berturut-turut sebagai berikut.

$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle 0,6 \cos(\theta), 0,6 \sin(\theta) + t + 0,6, 8v + 132 \rangle \quad \text{dengan} \\ 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle 0,6 \sin(v), (4 + 0,6 \cos(v)) \cos(\theta) + t + 4,6, (4 + \\ 0,6 \cos(v)) \sin(\theta) + 132 \rangle \text{ dengan } \pi \leq \theta \leq 2\pi \text{ dan } 0 \leq \\ v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_c, y_c, z_c \rangle = \langle 0,75 \sin(u) \cos(v), 0,75 \sin(u) \sin(v) + t + 8,6, \\ 0,75 \cos(u) + 132 \rangle \text{ dengan } 0 \leq u, v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_d, y_d, z_d \rangle = \langle 0,6 \cos(\theta), (0,6 \sin(\theta)) \cos(40^\circ) + (16v) \sin(40^\circ) + \\ t + 0,6, -(0,6 \sin(\theta)) \sin(40^\circ) + (16v) \cos(40^\circ) + 140 \rangle \\ \text{dengan } 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_e, y_e, z_e \rangle = \langle 0,75 \sin(u) \cos(v), 0,75 \sin(u) \sin(v) + 16 \sin(40^\circ) + \\ t + 8,6, 0,75 \cos(u) + 16 \cos(40^\circ) + 140 \rangle \text{ dengan } 0 \leq \\ u, v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_p, y_p, z_p \rangle = \langle 0,6 \sin(\alpha) \cos(\theta), 0,6 \sin(\alpha) \cos(\theta) + t + \\ 0,6 \cos(\alpha) + 140 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 2\pi \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

d) Sumbu y negatif

Persamaan parametrik untuk bagian A sampai bagian E pada sumbu y negatif berturut-turut sebagai berikut.

$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle 0,6 \cos(\theta), 0,6 \sin(\theta) - t - 0,6, 8v + 132 \rangle \quad \text{dengan} \\ 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle 0,6 \sin(v), -(4 + 0,6 \cos(v)) \cos(\theta) - t - 4,6, (4 + 0,6 \cos(v)) \sin(\theta) + 132 \rangle \text{ dengan } \pi \leq \theta \leq 2\pi \text{ dan } 0 \leq v \leq 2\pi.$$

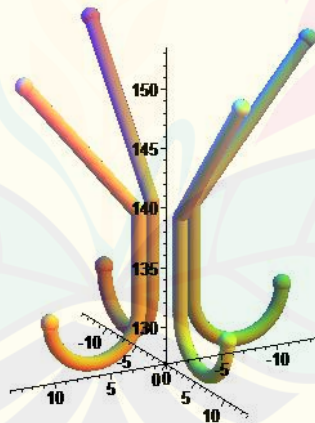
$$\langle x_c, y_c, z_c \rangle = \langle 0,75 \sin(u) \cos(v), 0,75 \sin(u) \sin(v) - t - 8,6, 0,75 \cos(u) + 132 \rangle \text{ dengan } 0 \leq u, v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_d, y_d, z_d \rangle = \langle 0,6 \cos(\theta), (0,6 \sin(\theta)) \cos(40^\circ) - (16v) \sin(40^\circ) - t - 0,6, (0,6 \sin(\theta)) \sin(40^\circ) + (16v) \cos(40^\circ) + 140 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_e, y_e, z_e \rangle = \langle 0,75 \sin(u) \cos(v), 0,75 \sin(u) \sin(v) - 16 \sin(40^\circ) - t - 8,6, 0,75 \cos(u) + 16 \cos(40^\circ) + 140 \rangle \text{ dengan } 0 \leq u, v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_p, y_p, z_p \rangle = \langle 0,6 \sin(\alpha) \cos(\theta), 0,6 \sin(\alpha) \cos(\theta) - t - 0,6 \cos(\alpha) + 140 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 2\pi \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

Hasil yang diperoleh dari langkah-langkah di atas disajikan pada Gambar 4.10 berikut. *Script* terdapat pada Lampiran 7.



Gambar 4.10 Gantungan atas model 1

b. Gantungan atas model 2

Langkah-langkah untuk mengkonstruksi gantungan atas model 2 antara lain yaitu:

1) Menentukan bagian dan ukurannya

Gantungan atas model 2 ini dibagi menjadi delapan bagian yaitu bagian A, bagian B, bagian C, bagian D, bagian E, bagian F, bagian G, dan bagian H yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 berikut.



Gambar 4.11 Bagian gantungan atas model 2

Bagian A merupakan bagian vertikal yang menempel pada badan tiang dan dibangun menggunakan persamaan tabung dengan jari-jari $r_A = 0,6$ cm dan tinggi $h_A = 8$ cm. Bagian B merupakan bagian lengkung di bawah yang dikonstruksikan menggunakan persamaan seperempat torus dengan jari-jari $r_B = 0,6$ cm, jarak pusat torus ke pusat lingkaran torus $R_B = 4$ cm, dan sudut perputaran torus $\pi \leq \theta_B \leq 1,5\pi$. Bagian C merupakan bagian horizontal yang dimodelkan melalui persamaan tabung dengan jari-jari $r_C = 0,6$ cm dan panjang $h_C = 4$ cm. Bagian D merupakan bagian bulatan pada ujung bawah dan dibangun dengan persamaan bola yang jari-jarinya $r_D = 0,75$ cm. Bagian E merupakan bagian lengkung di atas yang dikonstruksikan menggunakan persamaan seperempat torus terbuka ke luar dengan jari-jari $r_E = 0,6$ cm, jarak pusat torus ke pusat lingkaran torus $R_E = 5$ cm, dan sudut perputaran torus $0,5\pi \leq \theta_E \leq \pi$. Bagian F juga merupakan bagian lengkung di atas yang dikonstruksikan menggunakan persamaan seperempat torus terbuka ke dalam dengan jari-jari $r_F = 0,6$ cm, jarak pusat torus ke pusat lingkaran torus $R_F = 5$ cm, dan sudut perputaran torus $1,5\pi \leq \theta_F \leq 2\pi$. Bagian G merupakan bagian vertikal di atas dan dibangun menggunakan persamaan tabung dengan jari-jari $r_G = 0,6$ cm dan tinggi $h_G = 5$ cm. Dan, bagian H merupakan bagian bulatan pada ujung atas yang dibangun dari persamaan bola dengan $r_H = 0,75$ cm.

2) Menentukan koordinat titik

Gantungan atas dimodelkan menempel pada badan tiang dan untuk masing-masing arah terdapat satu model, yaitu sumbu x positif, sumbu x negatif, sumbu y positif, dan sumbu y negatif. Oleh karena itu, penentuan koordinat titik harus dibuat untuk setiap arah, yang antara lain sebagai berikut.

a) Sumbu x positif

Pusat tabung untuk memodelkan bagian A berada di titik $P_{A1}(t + 0,6, 0, 132)$. Pusat torus untuk bagian B terletak di titik $P_{B1}(t + 4,6, 0, 132)$. Bagian C dimodelkan dengan tabung sejajar sumbu x dan berpusat di $P_{C1}(t + 4,6, 0, 128)$. Bola untuk bagian D berpusat di titik $P_{D1}(t + 8,6, 0, 128)$. Pusat torus untuk bagian E terletak di titik $P_{E1}(t + 5,6, 0, 140)$. Bagian F dibangun dengan torus yang berpusat di $P_{F1}(t + 5,6, 0, 145)$. Tabung yang dimodelkan untuk bagian G berpusat di titik $P_{G1}(t + 10,6, 0, 145)$. Bagian H dimodelkan dengan bola yang pusatnya berada di titik $P_{H1}(t + 10,6, 0, 150)$.

b) Sumbu x negatif

Pusat tabung untuk memodelkan bagian A berada di titik $P_{A1}(-t - 0,6, 0, 132)$. Pusat torus untuk bagian B terletak di titik $P_{B1}(-t - 4,6, 0, 132)$. Bagian C dimodelkan dengan tabung sejajar sumbu x dan berpusat di $P_{C1}(-t - 4,6, 0, 128)$. Bola untuk bagian D berpusat di titik $P_{D1}(-t - 8,6, 0, 128)$. Pusat torus untuk bagian E terletak di titik $P_{E1}(-t - 5,6, 0, 140)$. Bagian F dibangun dengan torus yang berpusat di $P_{F1}(-t - 5,6, 0, 145)$. Tabung yang dimodelkan untuk bagian G berpusat di titik $P_{G1}(-t - 10,6, 0, 145)$. Bagian H dimodelkan dengan bola yang pusatnya berada di titik $P_{H1}(-t - 10,6, 0, 150)$.

c) Sumbu y positif

Pusat tabung untuk memodelkan bagian A berada di titik $P_{A1}(0, t + 0,6, 132)$. Pusat torus untuk bagian B terletak di titik $P_{B1}(0, t + 4,6, 132)$. Bagian C dimodelkan dengan tabung sejajar sumbu x dan berpusat di $P_{C1}(0, t + 4,6, 128)$. Bola untuk bagian D berpusat di titik

$P_{D1}(0, t + 8,6, 128)$. Pusat torus untuk bagian E terletak di titik $P_{E1}(0, t + 5,6, 140)$. Bagian F dibangun dengan torus yang berpusat di $P_{F1}(0, t + 5,6, 145)$. Tabung yang dimodelkan untuk bagian G berpusat di titik $P_{G1}(0, t + 10,6, 145)$. Bagian H dimodelkan dengan bola yang pusatnya berada di titik $P_{H1}(0, t + 10,6, 150)$.

d) Sumbu y negatif

Pusat tabung untuk memodelkan bagian A berada di titik $P_{A1}(0, -t - 0,6, 132)$. Pusat torus untuk bagian B terletak di titik $P_{B1}(0, -t - 4,6, 132)$. Bagian C dimodelkan dengan tabung sejajar sumbu x dan berpusat di $P_{C1}(0, -t - 4,6, 128)$. Bola untuk bagian D berpusat di titik $P_{D1}(0, -t - 8,6, 128)$. Pusat torus untuk bagian E terletak di titik $P_{E1}(0, -t - 5,6, 140)$. Bagian F dibangun dengan torus yang berpusat di $P_{F1}(0, -t - 5,6, 145)$. Tabung yang dimodelkan untuk bagian G berpusat di titik $P_{G1}(0, -t - 10,6, 145)$. Bagian H dimodelkan dengan bola yang pusatnya berada di titik $P_{H1}(0, -t - 10,6, 150)$.

3) Menentukan persamaan parametrik

Pada langkah ini, koordinat-koordinat titik yang telah ditentukan dan ukuran setiap bagian disubstitusikan ke persamaan parametrik tabung, torus, atau bola sesuai yang dibutuhkan. Persamaan parametrik yang dihasilkan antara lain sebagai berikut.

a) Sumbu x positif

Persamaan parametrik untuk bagian A sampai bagian H pada sumbu x positif berturut-turut sebagai berikut.

$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle 0,6 \cos(\theta) + t + 0,6, 0,6 \sin(\theta), 8v + 132 \rangle \quad \text{dengan} \\ 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle (4 + 0,6 \cos(v)) \cos(\theta) + t + 4,6, 0,6 \sin(v), (4 + \\ 0,6 \cos(v)) \sin(\theta) + 132 \rangle \text{ dengan } \pi \leq \theta \leq 1,5\pi \text{ dan } 0 \leq \\ v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_c, y_c, z_c \rangle = \langle 4v + t + 4,6, 0,6 \cos(\theta), 0,6 \sin(\theta) + 128 \rangle \quad \text{dengan} \\ 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_d, y_d, z_d \rangle = \langle 0,75 \sin(u) \cos(v) + t + 8,6, 0,75 \sin(u) \sin(v), \\ 0,75 \cos(u) + 128 \rangle \text{ dengan } 0 \leq u, v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_e, y_e, z_e \rangle = \langle (5 + 0,6 \cos(v)) \cos(\theta) + t + 5,6, 0,6 \sin(v), (5 + \\ 0,6 \cos(v)) \sin(\theta) + 140 \rangle \text{ dengan } 0,5\pi \leq \theta \leq 1\pi \text{ dan } 0 \leq \\ v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_f, y_f, z_f \rangle = \langle (5 + 0,6 \cos(v)) \cos(\theta) + t + 5,6, 0,6 \sin(v), (5 + \\ 0,6 \cos(v)) \sin(\theta) + 145 \rangle \text{ dengan } 1,5\pi \leq \theta \leq 2\pi \text{ dan } 0 \leq \\ v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_g, y_g, z_g \rangle = \langle 0,6 \cos(\theta) + t + 10,6, 0,6 \sin(\theta), 5v + 145 \rangle \text{ dengan} \\ 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_h, y_h, z_h \rangle = \langle 0,75 \sin(u) \cos(v) + t + 10,6, 0,75 \sin(u) \sin(v), \\ 0,75 \cos(u) + 150 \rangle \text{ dengan } 0 \leq u, v \leq 2\pi.$$

b) Sumbu x negatif

Persamaan parametrik untuk bagian A sampai bagian H pada sumbu x negatif berturut-turut sebagai berikut.

$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle 0,6 \cos(\theta) - t - 0,6, 0,6 \sin(\theta), 8v + 132 \rangle \text{ dengan} \\ 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle -(4 + 0,6 \cos(v)) \cos(\theta) - t - 4,6, 0,6 \sin(v), (4 + \\ 0,6 \cos(v)) \sin(\theta) + 132 \rangle \text{ dengan } \pi \leq \theta \leq 1,5\pi \text{ dan } 0 \leq \\ v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_c, y_c, z_c \rangle = \langle -4v - t - 4,6, 0,6 \cos(\theta), 0,6 \sin(\theta) + 128 \rangle \text{ dengan} \\ 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_d, y_d, z_d \rangle = \langle 0,75 \sin(u) \cos(v) - t - 8,6, 0,75 \sin(u) \sin(v), \\ 0,75 \cos(u) + 128 \rangle \text{ dengan } 0 \leq u, v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_e, y_e, z_e \rangle = \langle -(5 + 0,6 \cos(v)) \cos(\theta) - t - 5,6, 0,6 \sin(v), (5 + \\ 0,6 \cos(v)) \sin(\theta) + 140 \rangle \text{ dengan } 0,5\pi \leq \theta \leq 1\pi \text{ dan } 0 \leq \\ v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_f, y_f, z_f \rangle = \langle -(5 + 0,6 \cos(v)) \cos(\theta) - t - 5,6, 0,6 \sin(v), (5 + 0,6 \cos(v)) \sin(\theta) + 145 \rangle \text{ dengan } 1,5\pi \leq \theta \leq 2\pi \text{ dan } 0 \leq v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_g, y_g, z_g \rangle = \langle 0,6 \cos(\theta) - t - 10,6, 0,6 \sin(\theta), 5v + 145 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_h, y_h, z_h \rangle = \langle 0,75 \sin(u) \cos(v) - t - 10,6, 0,75 \sin(u) \sin(v), 0,75 \cos(u) + 150 \rangle \text{ dengan } 0 \leq u, v \leq 2\pi.$$

c) Sumbu y positif

Persamaan parametrik untuk bagian A sampai bagian H pada sumbu y positif berturut-turut sebagai berikut.

$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle 0,6 \cos(\theta), 0,6 \sin(\theta) + t + 0,6, 8v + 132 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle 0,6 \sin(v), (4 + 0,6 \cos(v)) \cos(\theta) + t + 4,6, (4 + 0,6 \cos(v)) \sin(\theta) + 132 \rangle \text{ dengan } \pi \leq \theta \leq 1,5\pi \text{ dan } 0 \leq v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_c, y_c, z_c \rangle = \langle 0,6 \cos(\theta), 4v + t + 4,6, 0,6 \sin(\theta) + 128 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_d, y_d, z_d \rangle = \langle 0,75 \sin(u) \cos(v), 0,75 \sin(u) \sin(v) + t + 8,6, 0,75 \cos(u) + 128 \rangle \text{ dengan } 0 \leq u, v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_e, y_e, z_e \rangle = \langle 0,6 \sin(v), (5 + 0,6 \cos(v)) \cos(\theta) + t + 5,6, (5 + 0,6 \cos(v)) \sin(\theta) + 140 \rangle \text{ dengan } 0,5\pi \leq \theta \leq 1\pi \text{ dan } 0 \leq v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_f, y_f, z_f \rangle = \langle 0,6 \sin(v), (5 + 0,6 \cos(v)) \cos(\theta) + t + 5,6, (5 + 0,6 \cos(v)) \sin(\theta) + 145 \rangle \text{ dengan } 1,5\pi \leq \theta \leq 2\pi \text{ dan } 0 \leq v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_g, y_g, z_g \rangle = \langle 0,6 \cos(\theta), 0,6 \sin(\theta) + t + 10,6, 5v + 145 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_h, y_h, z_h \rangle = \langle 0,75 \sin(u) \cos(v), 0,75 \sin(u) \sin(v) + t + 10,6, 0,75 \cos(u) + 150 \rangle \text{ dengan } 0 \leq u, v \leq 2\pi.$$

d) Sumbu y negatif

Persamaan parametrik untuk bagian A sampai bagian H pada sumbu y negatif berturut-turut sebagai berikut.

$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle 0,6 \cos(\theta), 0,6 \sin(\theta) - t - 0,6, 8v + 132 \rangle \quad \text{dengan} \\ 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle 0,6 \sin(v), -(4 + 0,6 \cos(v)) \cos(\theta) - t - 4,6, (4 + \\ 0,6 \cos(v)) \sin(\theta) + 132 \rangle \text{ dengan } \pi \leq \theta \leq 1,5\pi \text{ dan } 0 \leq \\ v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_c, y_c, z_c \rangle = \langle 0,6 \cos(\theta), -4v - t - 4,6, 0,6 \sin(\theta) + 128 \rangle \quad \text{dengan} \\ 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_d, y_d, z_d \rangle = \langle 0,75 \sin(u) \cos(v), 0,75 \sin(u) \sin(v) - t - 8,6, \\ 0,75 \cos(u) + 128 \rangle \text{ dengan } 0 \leq u, v \leq 2\pi.$$

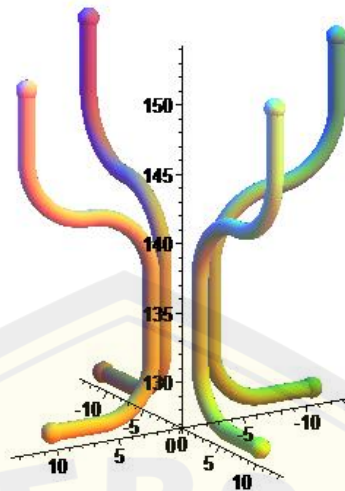
$$\langle x_e, y_e, z_e \rangle = \langle 0,6 \sin(v), -(5 + 0,6 \cos(v)) \cos(\theta) - t - 5,6, (5 + \\ 0,6 \cos(v)) \sin(\theta) + 140 \rangle \text{ dengan } 0,5\pi \leq \theta \leq 1\pi \text{ dan } 0 \leq \\ v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_f, y_f, z_f \rangle = \langle 0,6 \sin(v), -(5 + 0,6 \cos(v)) \cos(\theta) - t - 5,6, (5 + \\ 0,6 \cos(v)) \sin(\theta) + 145 \rangle \text{ dengan } 1,5\pi \leq \theta \leq 2\pi \text{ dan } 0 \leq \\ v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_g, y_g, z_g \rangle = \langle 0,6 \cos(\theta), 0,6 \sin(\theta) - t - 10,6, 5v + 145 \rangle \quad \text{dengan} \\ 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_h, y_h, z_h \rangle = \langle 0,75 \sin(u) \cos(v), 0,75 \sin(u) \sin(v) - t - 10,6, \\ 0,75 \cos(u) + 150 \rangle \text{ dengan } 0 \leq u, v \leq 2\pi.$$

Hasil yang diperoleh dari langkah-langkah di atas disajikan pada Gambar 4.12 berikut. *Script* terdapat pada Lampiran 7.



Gambar 4.12 Gantungan atas model 2

4.1,5 Modelisasi Bagian Gantungan Bawah

Gantungan bawah juga dibuat dengan pipa besi yang ujungnya diberi bulatan bola. Namun, ukuran yang digunakan lebih kecil dibandingkan gantungan atas yaitu diameter pipa $d = 0,8$ cm dan diameter bola $d = 1$ cm. Terdapat dua model gantungan bawah yang diajukan dalam penelitian ini (lihat Gambar 3.5). Prosedur konstruksi kedua model gantungan bawah tersebut antara lain sebagai berikut.

a. Gantungan bawah model 1

Berdasarkan ilustrasi gantungan bawah model 1 pada Gambar 3.5, benda geometri yang dibutuhkan untuk memodelkannya adalah tabung dan bola. Langkah-langkah modelisasi gantungan bawah model 1 ini adalah. Sebagai berikut.

1) Menentukan bagian dan ukurannya

Gantungan bawah model 1 ini dibagi menjadi tiga bagian yaitu bagian A, bagian B, dan bagian C yang ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Bagian gantungan bawah model 1

Bagian A merupakan bagian horizontal yang menempel pada badan tiang dan dibangun menggunakan persamaan tabung dengan jari-jari $r_A = 0,4$ cm

dan panjang $h_A = 4$ cm. Bagian B adalah bagian yang dimiringkan dengan sudut kemiringan 30° dari tabung horizontal yang jari-jarinya $r_B = 0,4$ cm dan panjangnya $h_B = 4$ cm. Bagian C adalah bulatan yang berada diujung yang dimodelkan menggunakan bola dengan jari-jari $r_C = 0,5$ cm. Pada bagian sambungan model A dan B diberikan potongan bola dengan jari-jari $r_p = 0,4$ cm.

2) Menentukan koordinat titik

Gantungan bawah dimodelkan menempel pada badan tiang di masing-masing arah, yaitu sumbu x positif, sumbu x negatif, sumbu y positif, dan sumbu y negatif. Oleh karena itu, penentuan koordinat titik harus dibuat untuk setiap arah tersebut, yang antara lain sebagai berikut.

a) Sumbu x positif

Bagian A pada sumbu x positif ini dimodelkan dengan tabung yang berpusat di titik $P_{A1}(t, 0, 80)$. Bagian B dimodelkan dengan tabung horizontal dengan titik pusat di $P_{B1}(t + 4, 0, 80)$, kemudian dirotasikan 30° dengan pusat rotasi di titik P_{B1} tersebut. Bola untuk bagian C dimodelkan dengan pusat di titik $P_{C1}(4 \cos(30^\circ) + t + 4, 0, 4 \sin(30^\circ) + 80)$ yang merupakan hasil rotasi dari titik ujung tengah bagian B. Bagian penghubung dengan titik pusat di $P_p(t + 4, 0, 80)$.

b) Sumbu x negatif

Bagian A pada sumbu x negatif ini dimodelkan dengan tabung yang berpusat di titik $P_{A2}(-t, 0, 80)$. Bagian B dimodelkan dengan tabung horizontal dengan titik pusat di $P_{B2}(-t - 4, 0, 80)$, kemudian dirotasikan 30° dengan pusat rotasi di titik P_{B1} tersebut. Bola untuk bagian C dimodelkan dengan pusat di titik $P_{C2}(-4 \cos(30^\circ) - t - 4, 0, 4 \sin(30^\circ) + 80)$ yang merupakan hasil rotasi dari titik ujung tengah bagian B. Bagian penghubung dengan titik pusat di $P_p(-t - 4, 0, 80)$.

c) Sumbu y positif

Bagian A pada sumbu y positif ini dimodelkan dengan tabung yang berpusat di titik $P_{A3}(0, t, 80)$. Bagian B dimodelkan dengan tabung

horizontal dengan titik pusat di $P_{B3}(0, t + 4, 80)$, kemudian dirotasikan 30° dengan pusat rotasi di titik P_{B1} tersebut. Bola untuk bagian C dimodelkan dengan pusat di titik $P_{C3}(0, 4 \cos(30^\circ) + t + 4, 4 \sin(30^\circ) + 80)$ yang merupakan hasil rotasi dari titik ujung tengah bagian B. Bagian penghubung dengan titik pusat di $P_P(t + 4, 80)$.

d) Sumbu y negatif

Bagian A pada sumbu y negatif ini dimodelkan dengan tabung yang berpusat di titik $P_{A4}(0, -t, 80)$. Bagian B dimodelkan dengan tabung horizontal dengan titik pusat di $P_{B4}(0, -t - 4, 80)$, kemudian dirotasikan 30° dengan pusat rotasi di titik P_{B1} tersebut. Bola untuk bagian C dimodelkan dengan pusat di titik $P_{C4}(0, -4 \cos(30^\circ) - t - 4, 4 \sin(30^\circ) + 80)$ yang merupakan hasil rotasi dari titik ujung tengah bagian B. Bagian penghubung dengan titik pusat di $P_P(-t - 4, 80)$.

3) Menentukan persamaan parametrik

Koordinat-koordinat titik yang telah ditentukan pada langkah sebelumnya dan ukuran setiap bagian disubstitusikan ke persamaan parametrik tabung atau bola sesuai yang dibutuhkan. Persamaan parametrik yang dihasilkan antara lain sebagai berikut.

a) Sumbu x positif

Persamaan parametrik untuk bagian A sampai bagian C pada sumbu x positif berturut-turut sebagai berikut.

$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle 4v + t, 0,4 \cos(\theta), 0,4 \sin(\theta) + 80 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 1 \\ \text{dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle (4v) \cos(30^\circ) - (0,4 \sin(u)) \sin(30^\circ) + t + 4, \\ 0,4 \cos(\theta), (4v) \sin(30^\circ) - (0,4 \sin(\theta)) \cos(30^\circ) + 80 \rangle \\ \text{dengan } 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_c, y_c, z_c \rangle = \langle 0,5 \sin(u) \cos(v) + 4 \cos(30^\circ) + t + 4, \\ 0,5 \sin(u) \sin(v), 0,5 \cos(u) + 4 \sin(30^\circ) + 80 \rangle \text{ dengan } \\ 0 \leq u, v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_p, y_p, z_p \rangle = \langle 0,4 \sin(\alpha) \cos(\theta), 0,4 \sin(\alpha) \cos(\theta) + t + 0,6 \cos(\alpha) + 80 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 2\pi \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

b) Sumbu x negatif

Persamaan parametrik untuk bagian A sampai bagian C pada sumbu x negatif berturut-turut sebagai berikut.

$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle -4v - t, 0,4 \cos(\theta), 0,4 \sin(\theta) + 80 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle (-4v) \cos(30^\circ) + (0,4 \sin(u)) \sin(30^\circ) - t - 4, 0,4 \cos(\theta), -(-4v) \sin(30^\circ) + (0,4 \sin(\theta)) \cos(30^\circ) + 80 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_c, y_c, z_c \rangle = \langle 0,5 \sin(u) \cos(v) - 4 \cos(30^\circ) - t - 4, 0,5 \sin(u) \sin(v), 0,5 \cos(u) + 4 \sin(30^\circ) + 80 \rangle \text{ dengan } 0 \leq u, v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_p, y_p, z_p \rangle = \langle 0,4 \sin(\alpha) \cos(\theta) - t - 0,4 \sin(\alpha) \cos(\theta), 0,4 \cos(\alpha) + 80 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 2\pi \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

c) Sumbu y positif

Persamaan parametrik untuk bagian A sampai bagian C pada sumbu y positif berturut-turut sebagai berikut.

$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle 0,4 \cos(\theta), 4v + t, 0,4 \sin(\theta) + 80 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle 0,4 \cos(\theta), (4v) \cos(30^\circ) - (0,4 \sin(u)) \sin(30^\circ) + t + 4, (4v) \sin(30^\circ) - (0,4 \sin(\theta)) \cos(30^\circ) + 80 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_c, y_c, z_c \rangle = \langle 0,5 \sin(u) \cos(v), 0,5 \sin(u) \sin(v) + 4 \cos(30^\circ) + t + 4, 0,5 \cos(u) + 4 \sin(30^\circ) + 80 \rangle \text{ dengan } 0 \leq u, v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_p, y_p, z_p \rangle = \langle 0,4 \sin(\alpha) \cos(\theta), 0,4 \sin(\alpha) \cos(\theta) + t + 0,4 \cos(\alpha) + 80 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 2\pi \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

d) Sumbu y negatif

Persamaan parametrik untuk bagian A sampai bagian C pada sumbu y negatif berturut-turut sebagai berikut.

$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle 0,4 \cos(\theta), -4v - t, 0,4 \sin(\theta) + 80 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

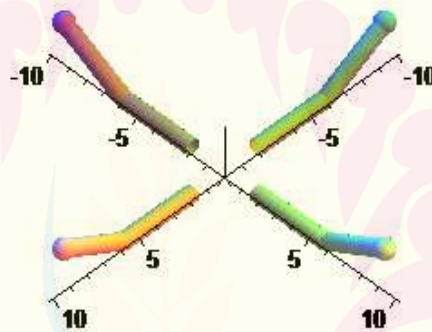
$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle 0,4 \cos(\theta), (-4v) \cos(30^\circ) + (0,4 \sin(u)) \sin(30^\circ) - t - 4, -(-4v) \sin(30^\circ) + (0,4 \sin(\theta)) \cos(30^\circ) + 80 \rangle$$

dengan $0 \leq v \leq 1$ dan $0 \leq \theta \leq 2\pi$.

$$\langle x_c, y_c, z_c \rangle = \langle 0,5 \sin(u) \cos(v), 0,5 \sin(u) \sin(v) - 4 \cos(30^\circ) - t - 4, 0,5 \cos(u) + 4 \sin(30^\circ) + 80 \rangle \text{ dengan } 0 \leq u, v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_p, y_p, z_p \rangle = \langle 0,4 \sin(\alpha) \cos(\theta), 0,4 \sin(\alpha) \cos(\theta) - t - 0,4 \cos(\alpha) + 80 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 2\pi \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

Hasil yang diperoleh dari langkah-langkah di atas disajikan pada Gambar 4.14 berikut. *Script* terdapat pada Lampiran 8.



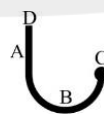
Gambar 4.14 Gantungan bawah model 1

b. Gantungan bawah model 2

Berdasarkan ilustrasi gantungan bawah model 2 pada Gambar 3.5, benda geometri yang dibutuhkan untuk memodelkannya adalah tabung, torus, dan bola. Langkah-langkah modelisasi gantungan bawah model 2 ini adalah sebagai berikut.

1) Menentukan bagian dan ukurannya

Gantungan bawah model 2 ini dibagi menjadi empat bagian yaitu bagian A, bagian B, bagian C, dan bagian D yang ditunjukkan pada Gambar 4.15 berikut.



Gambar 4.15 Bagian gantungan bawah model 2

Bagian A merupakan bagian vertikal yang menempel pada badan tiang dan dibangun menggunakan persamaan tabung dengan jari-jari $r_A = 0,4$ cm dan tinggi $h_A = 4$ cm. Bagian B adalah bagian lengkung yang dimodelkan menggunakan torus dengan jari-jari $r_B = 0,4$ cm, jarak pusat torus ke pusat lingkaran torus $R_B = 3$ cm, dan sudut perputaran torus $\pi \leq \theta_B \leq 2\pi$. Bagian C adalah bulatan yang berada diujung yang dimodelkan menggunakan bola dengan jari-jari $r_C = 0,5$ cm. Bagian D merupakan bagian penutup atas bagian A yang dibuat dengan lingkaran dengan jari-jari $r_D = 0,4$ cm.

2) Menentukan koordinat titik

Gantungan bawah dimodelkan menempel pada badan tiang di masing-masing arah, yaitu sumbu x positif, sumbu x negatif, sumbu y positif, dan sumbu y negatif. Oleh karena itu, penentuan koordinat titik harus dibuat untuk setiap arah tersebut, yang antara lain sebagai berikut.

a) Sumbu x positif

Bagian A dimodelkan dengan tabung yang berpusat di $P_{A1}(t + 0,4, 0, 80)$. Pusat torus untuk bagian B terletak di titik $P_{B1}(t + 3,4, 0, 80)$. Bagian C yang dibentuk dengan bola memiliki pusat di titik $P_{C1}(t + 6,4, 0, 80)$. Pusat lingkaran untuk bagian D berada di titik $P_{D1}(t + 0,4, 0, 84)$.

b) Sumbu x negatif

Bagian A dimodelkan dengan tabung yang berpusat di $P_{A2}(-t - 0,4, 0, 80)$. Pusat torus untuk bagian B terletak di titik $P_{B2}(-t - 3,4, 0, 80)$. Bagian C yang dibentuk dengan bola memiliki pusat di titik $P_{C2}(-t - 6,4, 0, 80)$. Pusat lingkaran untuk bagian D berada di titik $P_{D2}(-t - 0,4, 0, 84)$.

c) Sumbu y positif

Bagian A dimodelkan dengan tabung yang berpusat di $P_{A3}(0, t + 0,4, 80)$. Pusat torus untuk bagian B terletak di titik $P_{B3}(0, t + 3,4, 80)$. Bagian C yang dibentuk dengan bola memiliki pusat di titik

$P_{C3}(0, t + 6,4, 80)$. Pusat lingkaran untuk bagian D berada di titik $P_{D3}(0, t + 0,4, 84)$.

d) Sumbu y negatif

Bagian A dimodelkan dengan tabung yang berpusat di $P_{A4}(0, -t - 0,4, 80)$. Pusat torus untuk bagian B terletak di titik $P_{B4}(0, -t - 3,4, 80)$.

Bagian C yang dibentuk dengan bola memiliki pusat di titik $P_{C4}(0, -t - 6,4, 80)$. Pusat lingkaran untuk bagian D berada di titik $P_{D4}(0, -t - 0,4, 84)$.

3) Menentukan persamaan parametrik

Koordinat-koordinat titik yang telah ditentukan pada langkah sebelumnya dan ukuran setiap bagian disubstitusikan ke persamaan parametrik tabung, torus, atau bola sesuai yang dibutuhkan. Persamaan parametrik yang dihasilkan antara lain sebagai berikut.

a) Sumbu x positif

Persamaan parametrik untuk bagian A sampai bagian D pada sumbu x positif berturut-turut sebagai berikut.

$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle 0,4 \cos(\theta) + t + 0,4, 0,4 \sin(\theta), 4v + 80 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle (3 + 0,4 \cos(v)) \cos(\theta) + t + 3,4, 0,4 \sin(v), (3 + 0,4 \cos(v)) \sin(\theta) + 80 \rangle \text{ dengan } \pi \leq \theta \leq 2\pi \text{ dan } 0 \leq v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_c, y_c, z_c \rangle = \langle 0,5 \sin(u) \cos(v) + t + 6,4, 0,5 \sin(u) \sin(v), 0,5 \cos(u) + 80 \rangle \text{ dengan } 0 \leq u, v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_d, y_d, z_d \rangle = \langle 0,4 v \cos \theta + t + 0,4, 0,4 v \sin \theta, 84 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

b) Sumbu x negatif

Persamaan parametrik untuk bagian A sampai bagian D pada sumbu x negatif berturut-turut sebagai berikut.

$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle 0,4 \cos(\theta) - t - 0,4, 0,4 \sin(\theta), 4v + 80 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle -(3 + 0,4 \cos(v)) \cos(\theta) - t - 3,4, 0,4 \sin(v), (3 + 0,4 \cos(v)) \sin(\theta) + 80 \rangle \text{ dengan } \pi \leq \theta \leq 2\pi \text{ dan } 0 \leq v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_c, y_c, z_c \rangle = \langle 0,5 \sin(u) \cos(v) - t - 6,4, 0,5 \sin(u) \sin(v), 0,5 \cos(u) + 80 \rangle \text{ dengan } 0 \leq u, v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_d, y_d, z_d \rangle = \langle 0,4 v \cos \theta - t - 0,4, 0,4 v \sin \theta, 84 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

c) Sumbu y positif

Persamaan parametrik untuk bagian A sampai bagian D pada sumbu y positif berturut-turut sebagai berikut.

$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle 0,4 \cos(\theta), 0,4 \sin(\theta) + t + 0,4, 4v + 80 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle 0,4 \sin(v), (3 + 0,4 \cos(v)) \cos(\theta) + t + 3,4, (3 + 0,4 \cos(v)) \sin(\theta) + 80 \rangle \text{ dengan } \pi \leq \theta \leq 2\pi \text{ dan } 0 \leq v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_c, y_c, z_c \rangle = \langle 0,5 \sin(u) \cos(v), 0,5 \sin(u) \sin(v) + t + 6,4, 0,5 \cos(u) + 80 \rangle \text{ dengan } 0 \leq u, v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_d, y_d, z_d \rangle = \langle 0,4 v \cos \theta, 0,4 v \sin \theta + t + 0,4, 84 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

d) Sumbu y negatif

Persamaan parametrik untuk bagian A sampai bagian D pada sumbu y negatif berturut-turut sebagai berikut.

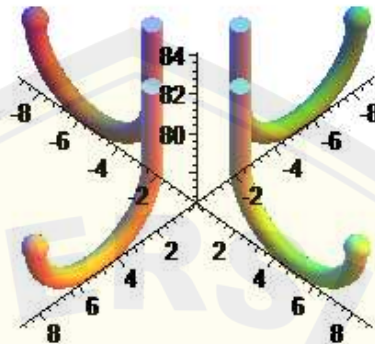
$$\langle x_a, y_a, z_a \rangle = \langle 0,4 \cos(\theta), 0,4 \sin(\theta) - t - 0,4, 4v + 80 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

$$\langle x_b, y_b, z_b \rangle = \langle 0,4 \sin(v), -(3 + 0,4 \cos(v)) \cos(\theta) - t - 3,4, (3 + 0,4 \cos(v)) \sin(\theta) + 80 \rangle \text{ dengan } \pi \leq \theta \leq 2\pi \text{ dan } 0 \leq v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_c, y_c, z_c \rangle = \langle 0,5 \sin(u) \cos(v), 0,5 \sin(u) \sin(v) - t - 6,4, 0,5 \cos(u) + 80 \rangle \text{ dengan } 0 \leq u, v \leq 2\pi.$$

$$\langle x_d, y_d, z_d \rangle = \langle 0,4 v \cos \theta, 0,4 v \sin \theta - t - 0,4, 84 \rangle \text{ dengan } 0 \leq v \leq 1 \text{ dan } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

Hasil yang diperoleh dari langkah-langkah di atas disajikan pada Gambar 4.15 berikut. *Script* terdapat pada Lampiran 8.



Gambar 4.16 Gantungan bawah model 2

4.2 Pembahasan

Pada subbab sebelumnya telah diuraikan mengenai prosedur modelisasi setiap komponen penyusun tiang gantungan baja. Berdasarkan hasil-hasil dari pemodelan yang telah didapatkan, terdapat beberapa prosedur yang harus dilakukan terlebih dahulu antara lainnya yaitu sebagai berikut. Pertama, menentukan terlebih dahulu komponen penyusun tiang gantungan baja serta variasi yang diinginkan. Kedua, memilih benda dasar geometri yang akan digunakan untuk membentuk tiang gantungan baja (prisma segi delapan, bola, torus, tabung, lingkaran) serta ukurannya. Ketiga, menetapkan titik koordinat awal. Keempat, menentukan langkah deformasi (kurva Bezier, pemotongan) dan/atau transformasi (rotasi, translasi) yang diperlukan. Kelima, membentuk persamaan-persamaan parametrik (segmen garis, tabung, torus, lingkaran, bola, lingkaran, kurva Bezier, interpolasi) dan kemudian dimodelkan dalam program Maple 18. Keenam, menggabungkan setiap bagian atau komponen penyusun yang dimodelkan hingga terbentuk tiang gantungan baja dan banyak variasi.

Selanjutnya pada subbab ini dibahas mengenai hasil pemodelan tiang gantungan baja. Pemodelan tersebut dilakukan melalui penggabungan hasil

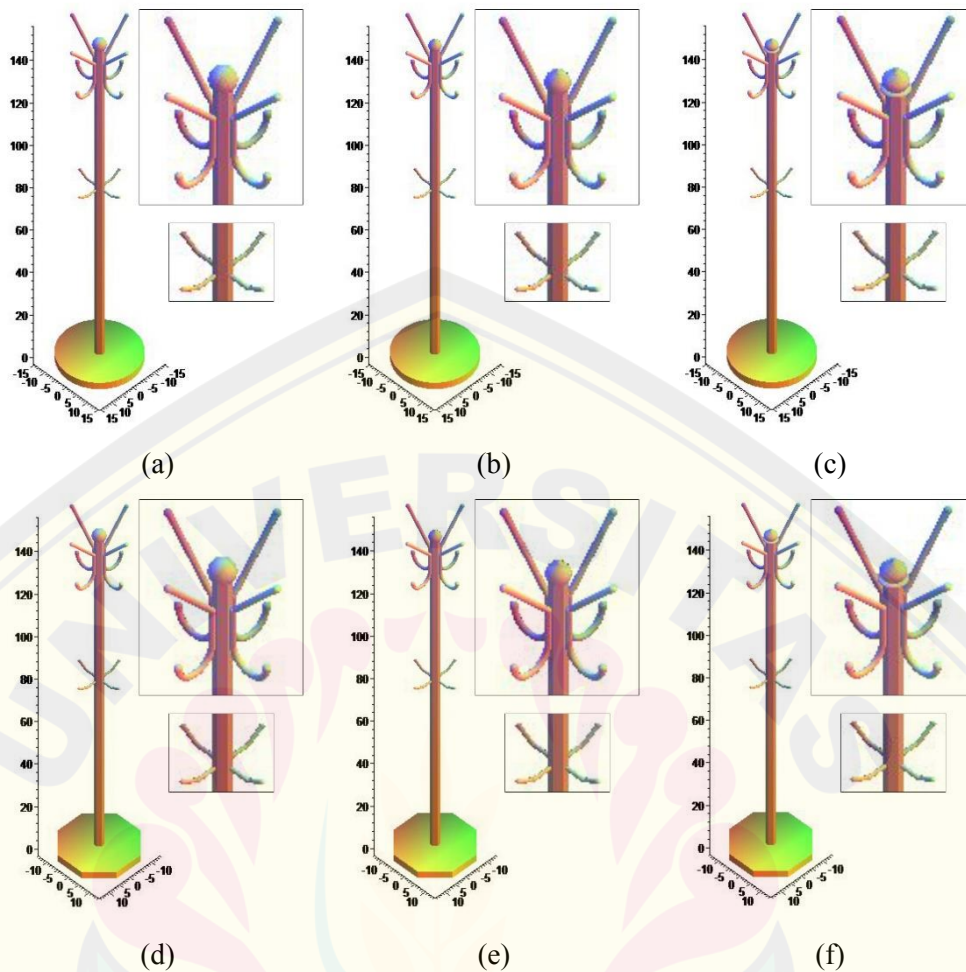
deformasi benda geometri ruang dan kurva Bezier dengan menggunakan program aplikasi Maple 18. Dari hasil pemodelan dapat diperoleh beberapa model dengan bentuk yang berbeda-beda. Berdasarkan jumlah model yang dibuat untuk setiap komponen penyusun yaitu, dua model alas tiang dengan model 1 (lingkaran) dan model 2 (prisma segi delapan), tiga model badan tiang dengan model 1 (prisma segi delapan), model 2 (prisma segi delapan dengan deformasi cekung), dan model 3 (prisma segi delapan dengan deformasi cembung), tiga model mahkota tiang dengan model 1 (bola), model 2 (kubah 1 lengkung), dan model 3 (kubah 2 lengkung), dua model gantungan atas dengan model 1 (lengkung, vertikal, dan miring) dan model 2 (horizontal, lengkung, vertikal, lengkung, horizontal, lengkung, dan vertikal), dan dua model gantungan bawah dengan model 1 (horizontal dan miring) dan model 2 (lengkung dan vertikal), maka keseluruhan variasi yang diperoleh dari modelisasi tiang gantungan baju dalam penelitian ini berjumlah 72 model. Untuk memudahkan dalam menunjukkan hasil dari penggabungan komponen penyusun tiang gantungan baju tersebut yang berjumlah 72 model itu, maka hasil-hasil tersebut dikelompokkan ke dalam model badan tiang sebagai berikut. *Script* penggabungan semua benda terdapat pada Lampiran 9.

4.2.1 Penggabungan Komponen dengan Badan Tiang Model 1

Pada bagian ini, akan ditunjukkan hasil-hasil penggabungan komponen penyusun tiang gantungan baju yang badan tiangnya menggunakan model 1 atau badan tiang yang berbentuk prisma segi delapan. Terdapat 24 variasi tiang gantungan baju yang dimodelisasikan dengan badan tiang model 1. Oleh karena itu, hasil dikelompokkan lagi berdasarkan model gantungan atas dan gantungan bawah seperti berikut.

a. Gantungan atas model 1 dan gantungan bawah model 1

Pada Gambar 4.17, ditunjukkan hasil kombinasi penggabungan komponen penyusun tiang gantungan baju dengan badan tiang, gantungan atas, dan gantungan bawah menggunakan model 1.

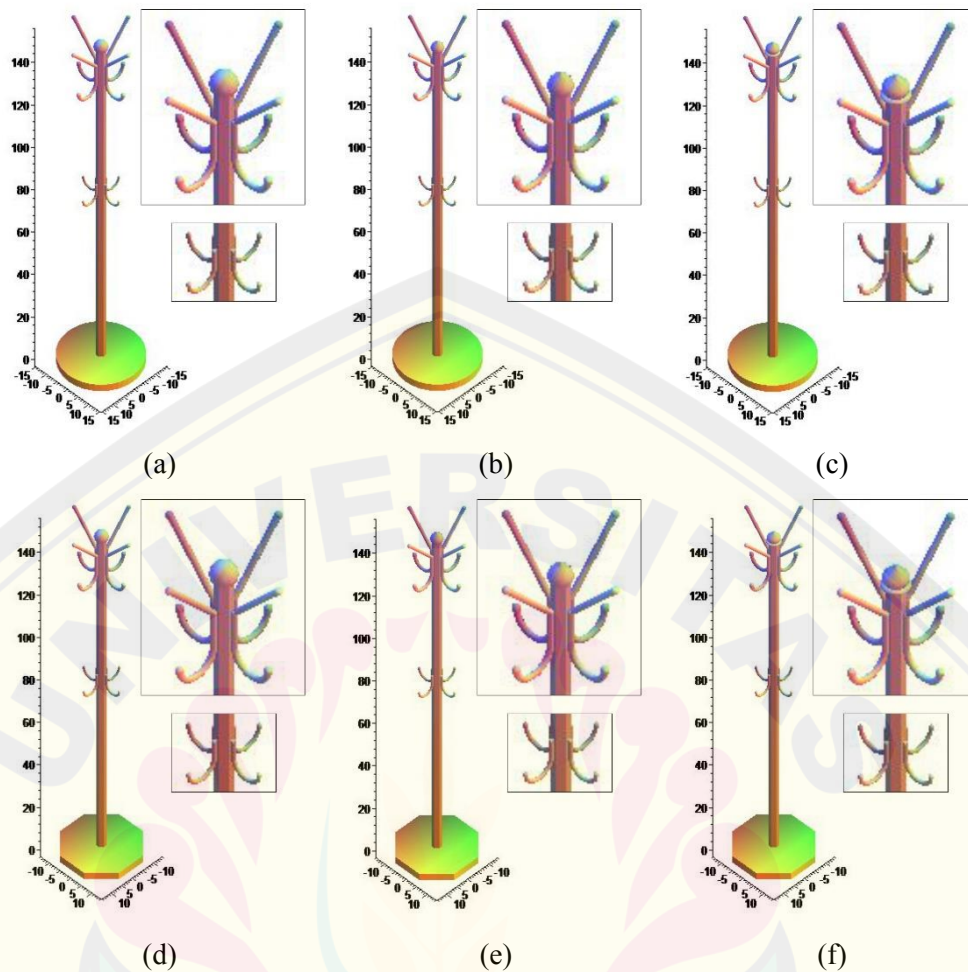


(a) Alas 1 mahkota 1; (b) Alas 1 mahkota 2; (c) Alas 1 mahkota 3
 (d) Alas 2 mahkota 1; (e) Alas 2 mahkota 2; (f) Alas 2 mahkota 3

Gambar 4.17 Tiang gantungan baju model 1-1-1

b. Gantungan atas model 1 dan gantungan bawah model 2

Pada Gambar 4.18, ditunjukkan kombinasi penggabungan komponen penyusun tiang gantungan baju dengan badan tiang dan gantungan atas menggunakan model 1, sedangkan gantungan bawah menggunakan model 2. Sama seperti pada kelompok sebelumnya, kelompok ini juga memiliki enam variasi yang dihasilkan dari pengombinasian dua model alas tiang dan tiga model mahkota tiang.

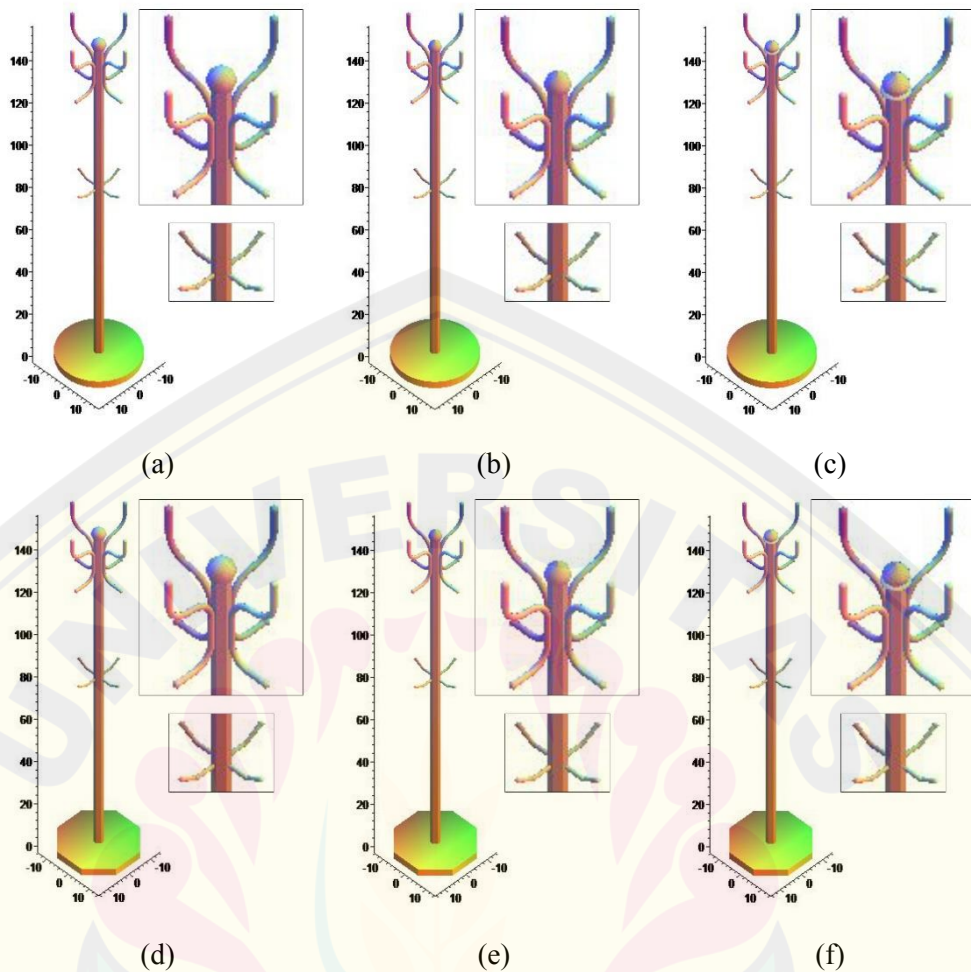


(a) Alas 1 mahkota 1; (b) Alas 1 mahkota 2; (c) Alas 1 mahkota 3
 (d) Alas 2 mahkota 1; (e) Alas 2 mahkota 2; (f) Alas 2 mahkota 3

Gambar 4.18 Tiang gantungan baju model 1-1-2

c. Gantungan atas model 2 dan gantungan bawah model 1

Pada Gambar 4.19, ditunjukkan hasil kombinasi penggabungan komponen penyusun tiang gantungan baju dengan badan tiang dan gantungan bawah menggunakan model 1, sedangkan gantungan atas menggunakan model 2. Sama seperti pada kelompok sebelumnya, kelompok ini juga memiliki enam variasi yang dihasilkan dari pengombinasian dua model alas tiang dan tiga model mahkota tiang namun pada bagian gantungan atas menggunakan model 2.

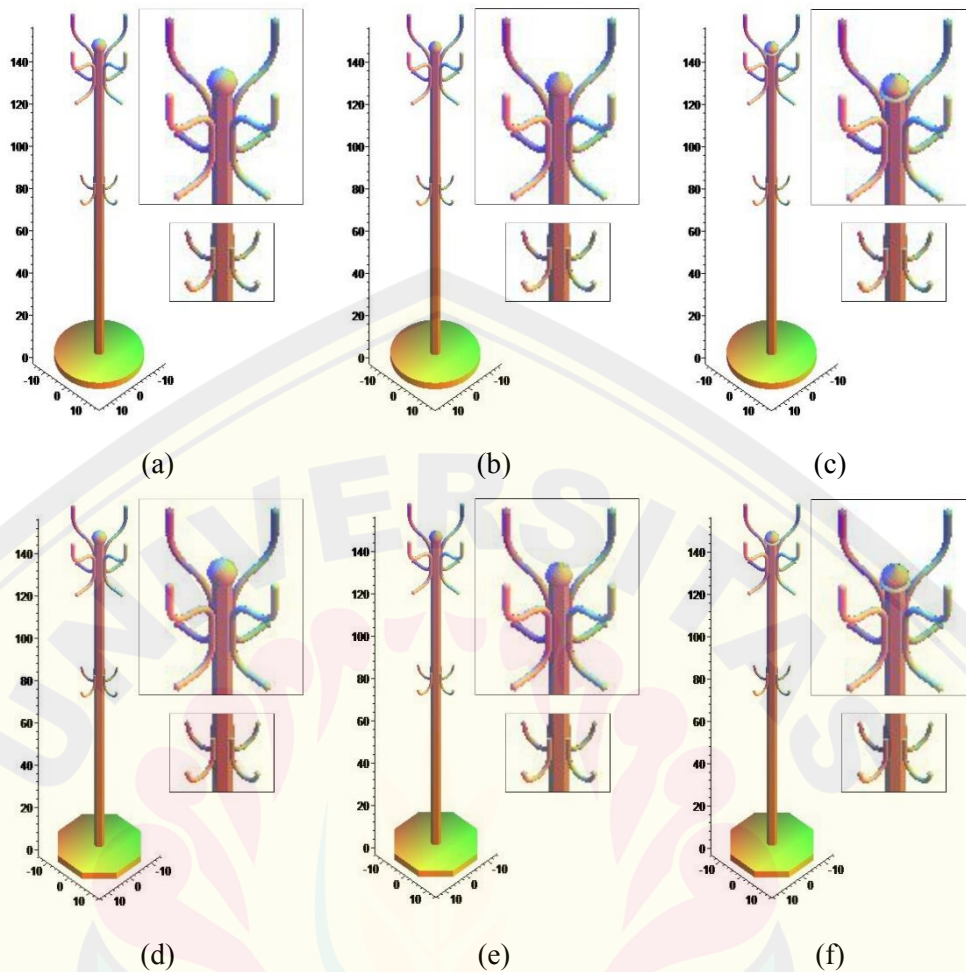


(a) Alas 1 mahkota 1; (b) Alas 1 mahkota 2; (c) Alas 1 mahkota 3
 (d) Alas 2 mahkota 1; (e) Alas 2 mahkota 2; (f) Alas 2 mahkota 3

Gambar 4.19 Tiang gantungan baju model 1-2-1

d. Gantungan atas model 2 dan gantungan bawah model 2

Pada Gambar 4.20, ditunjukkan hasil kombinasi penggabungan komponen penyusun tiang gantungan baju dengan badan tiang menggunakan model 1, sedangkan gantungan atas dan gantungan bawah menggunakan model 2. Sama dengan kelompok sebelumnya, kelompok ini juga memiliki enam variasi yang dihasilkan dari pengombinasian dua model.



(a) Alas 1 mahkota 1; (b) Alas 1 mahkota 2; (c) Alas 1 mahkota 3
 (d) Alas 2 mahkota 1; (e) Alas 2 mahkota 2; (f) Alas 2 mahkota 3

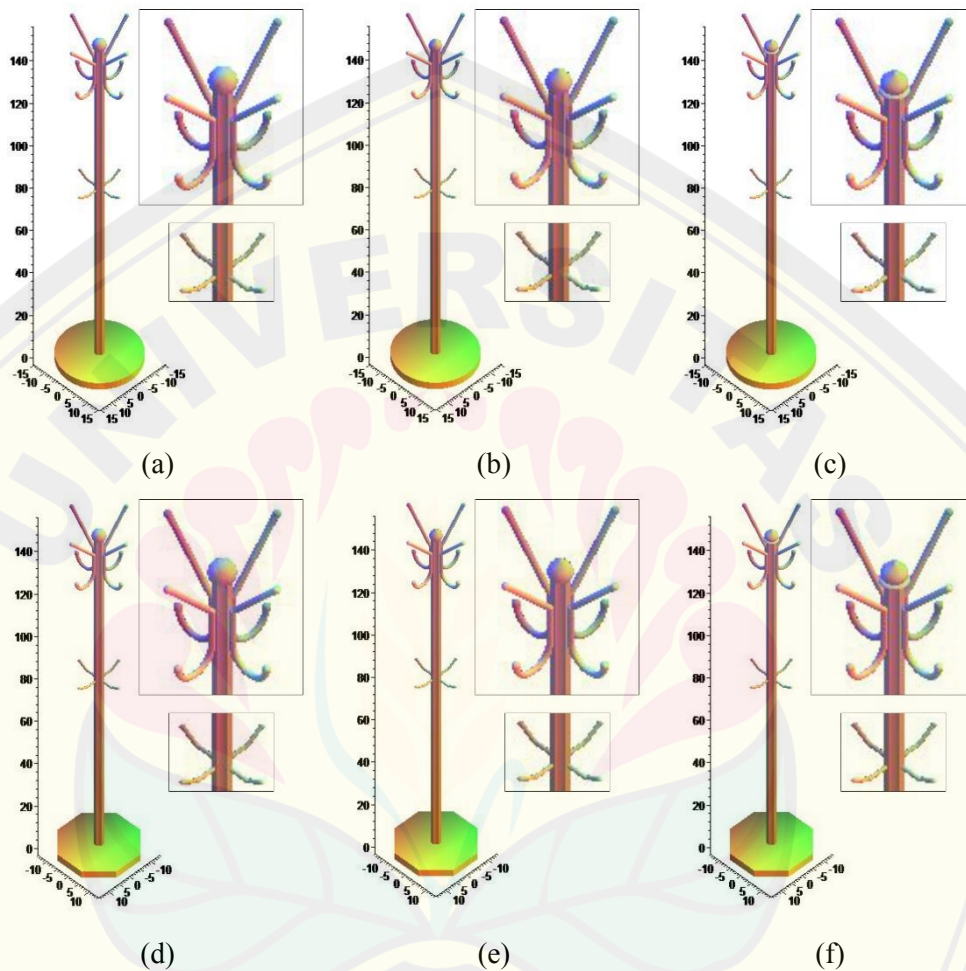
Gambar 4.20 Tiang gantungan baju model 1-2-2

4.2.2 Pengabungan Komponen dengan Badan Tiang Model 2

Pada bagian ini, akan ditunjukkan hasil-hasil penggabungan komponen penyusun tiang gantungan baju yang badan tiangnya menggunakan model 2 atau badan tiang yang berbentuk prisma segi delapan dengan deformasi cekung. Terdapat 24 variasi tiang gantungan baju yang dimodelisasikan dengan badan tiang model 2. Oleh karena itu, hasil dikelompokkan lagi berdasarkan model gantungan atas dan gantungan bawah seperti berikut.

a. Gantungan atas model 1 dan gantungan bawah model 1

Pada Gambar 4.21, ditunjukkan hasil kombinasi penggabungan komponen penyusun tiang gantungan baju dengan badan tiang model 2, sedangkan gantungan atas dan gantungan bawahnya menggunakan model 1.



(a) Alas 1 mahkota 1; (b) Alas 1 mahkota 2; (c) Alas 1 mahkota 3
 (d) Alas 2 mahkota 1; (e) Alas 2 mahkota 2; (f) Alas 2 mahkota 3

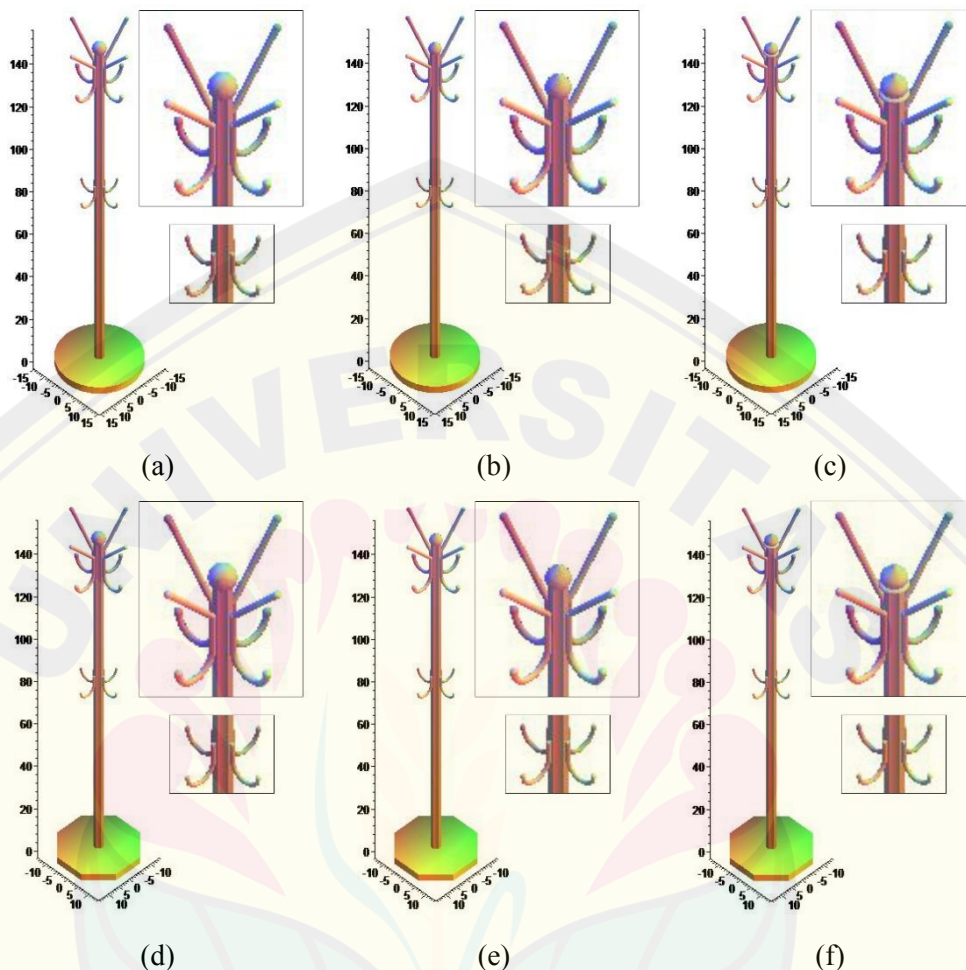
Gambar 4.21 Tiang gantungan baju model 2-1-1

b. Gantungan atas model 1 dan gantungan bawah model 2

Pada Gambar 4.22, ditunjukkan hasil kombinasi penggabungan komponen penyusun tiang gantungan baju dengan badan tiang dan gantungan bawah menggunakan model 2, sedangkan gantungan atasnya menggunakan model 1.

Sama seperti pada kelompok sebelumnya, kelompok ini juga memiliki enam

variasi yang dihasilkan dari pengombinasikan dua model alas dan tiga model mahkota tiang.

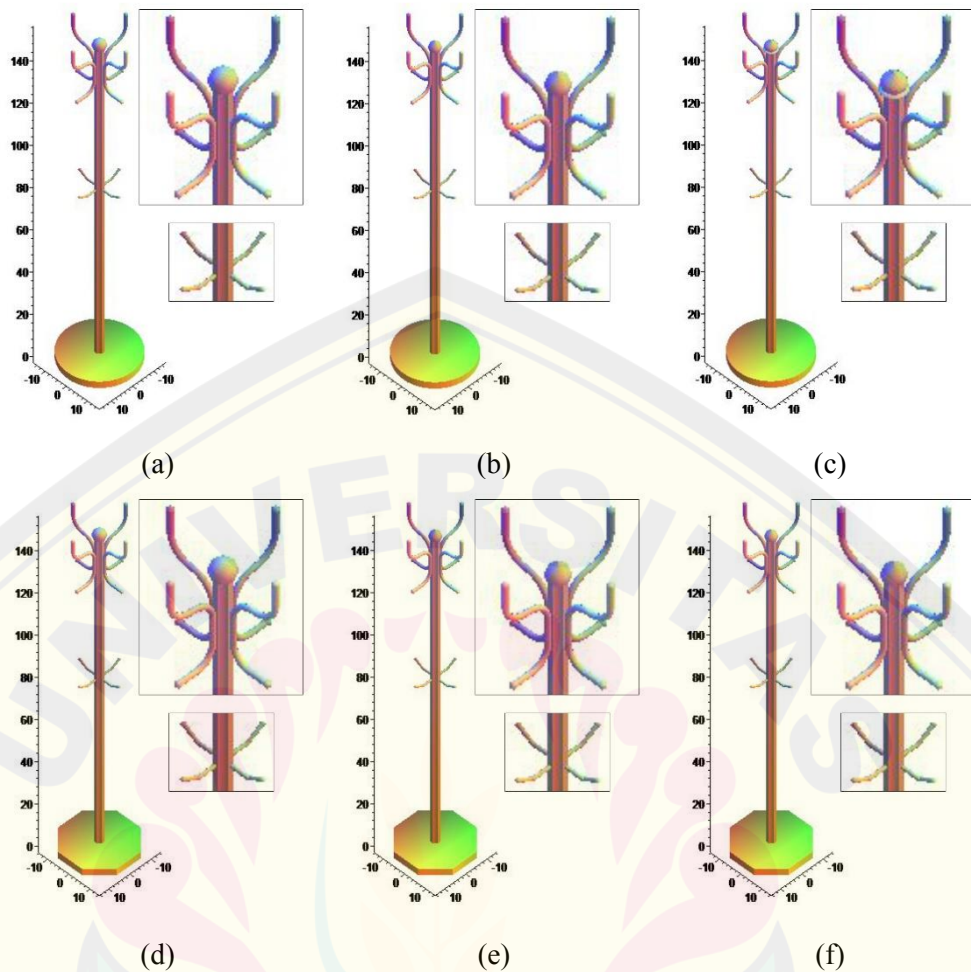


(a) Alas 1 mahkota 1; (b) Alas 1 mahkota 2; (c) Alas 1 mahkota 3
(d) Alas 2 mahkota 1; (e) Alas 2 mahkota 2; (f) Alas 2 mahkota 3

Gambar 4.22 Tiang gantungan baju model 2-1-2

c. Gantungan atas model 2 dan gantungan bawah model 1

Pada Gambar 4.23, ditunjukkan hasil kombinasi penggabungan komponen penyusun tiang gantungan baju dengan badan tiang dan gantungan atas menggunakan model 2, sedangkan gantungan bawahnya menggunakan model 1. Sama seperti pada kelompok sebelumnya, kelompok ini juga menghasilkan enam variasi yang dihasilkan dari pengombinasikan dua model alas tiang dan tiga model mahkota.

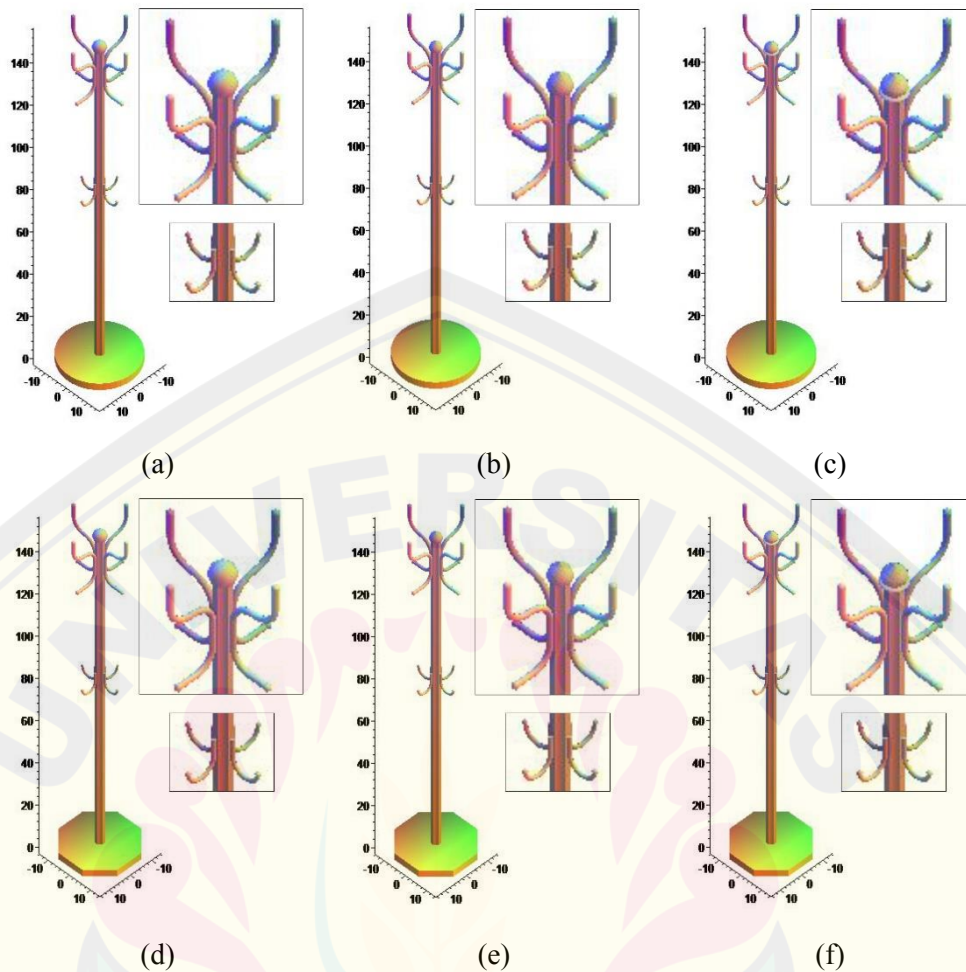


(a) Alas 1 mahkota 1; (b) Alas 1 mahkota 2; (c) Alas 1 mahkota 3
 (d) Alas 2 mahkota 1; (e) Alas 2 mahkota 2; (f) Alas 2 mahkota 3

Gambar 4.23 Tiang gantungan baju model 2-2-1

d. Gantungan atas model 2 dan gantungan bawah model 2

Pada Gambar 4.24, ditunjukkan hasil kombinasi penggabungan komponen penyusun tiang gantungan baju dengan badan tiang, gantungan atas dan gantungan bawah menggunakan model 2. Sama seperti kelompok sebelumnya, pada kelompok ini juga menghasilkan enam variasi dari pengombinasikan dua model alas tiang dan tiga model mahkota tiang.



(a) Alas 1 mahkota 1; (b) Alas 1 mahkota 2; (c) Alas 1 mahkota 3
 (d) Alas 2 mahkota 1; (e) Alas 2 mahkota 2; (f) Alas 2 mahkota 3

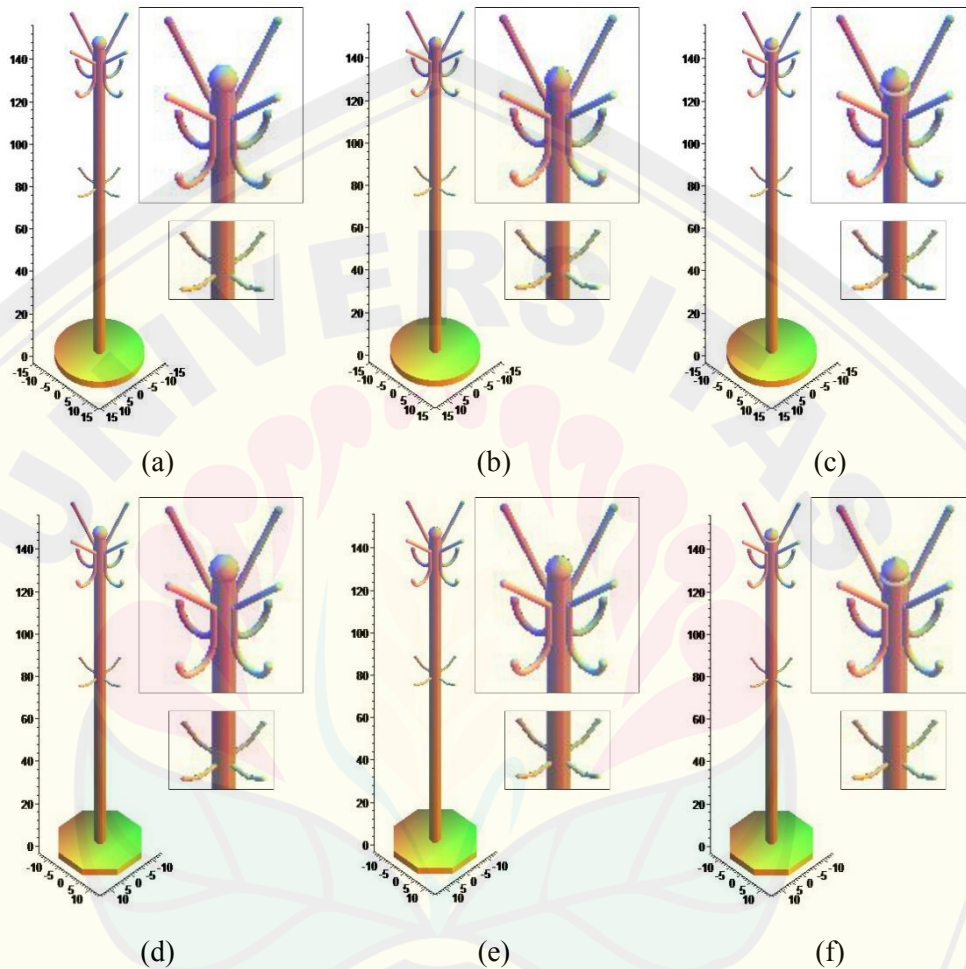
Gambar 4.24 Tiang gantungan baju model 2-2-2

4.2.3 Pengabungan Komponen dengan Badan Tiang Model 3

Pada bagian ini, akan ditunjukkan hasil-hasil penggabungan komponen penyusun tiang gantungan baju yang badan tiangnya menggunakan model 3 atau badan tiang yang berbentuk prisma segi delapan dengan deformasi cembung. Terdapat 24 variasi tiang gantungan baju yang dimodelisasikan dengan badan tiang model 2. Oleh karena itu, hasil dikelompokkan lagi berdasarkan model gantungan atas dan gantungan bawah seperti berikut.

a. Gantungan atas model 1 dan gantungan bawah model 1

Pada Gambar 4.25, ditunjukkan hasil kombinasi penggabungan komponen penyusun tiang gantungan baju dengan badan tiang model 3, sedangkan gantungan atas dan gantungan bawahnya menggunakan model 1.



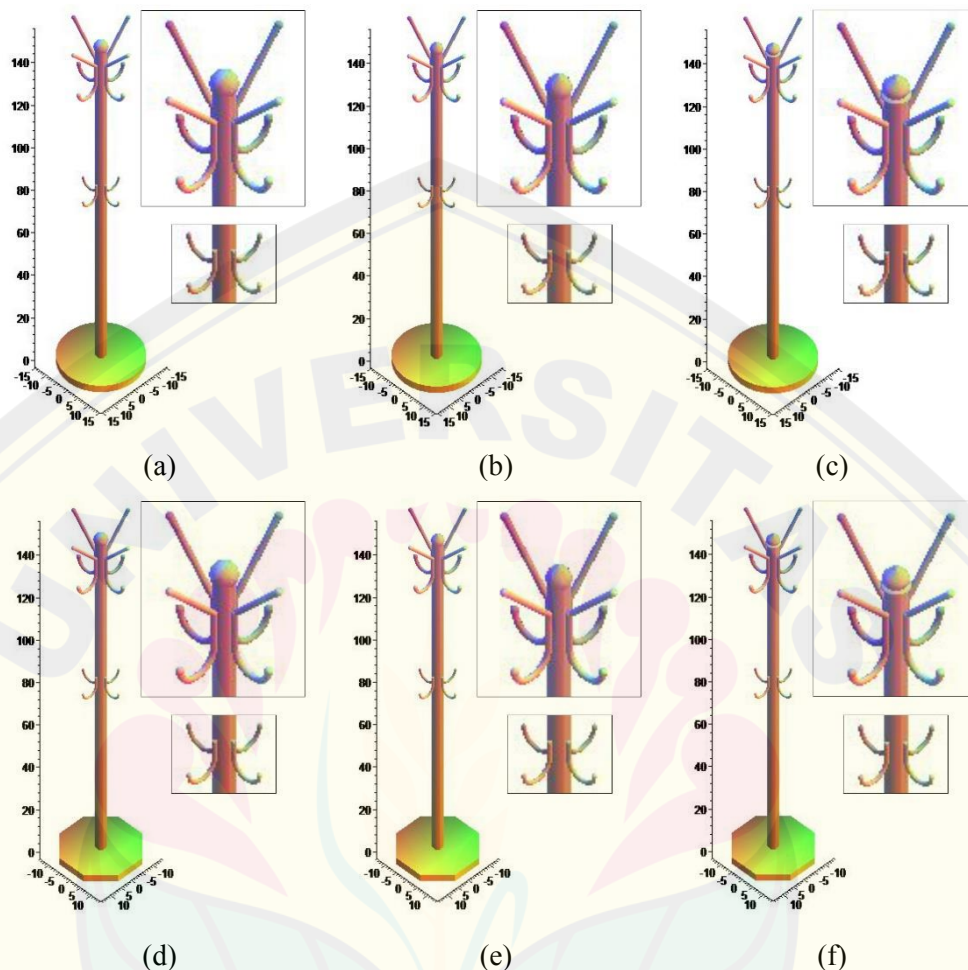
(a) Alas 1 mahkota 1; (b) Alas 1 mahkota 2; (c) Alas 1 mahkota 3
(d) Alas 2 mahkota 1; (e) Alas 2 mahkota 2; (f) Alas 2 mahkota 3

Gambar 4.25 Tiang gantungan baju model 3-1-1

b. Gantungan atas model 1 dan gantungan bawah model 2

Pada gambar 4.26, ditunjukkan hasil kombinasi penggabungan komponen penyusun tiang gantungan baju dengan badan tiang model 3, gantungan atas menggunakan model 1, dan gantungan bawah menggunakan model 2. Sama seperti pada kelompok sebelumnya, kelompok ini juga memiliki enam variasi

yang dihasilkan dari pengombinasian dua model alas tiang, tiga model mahkota dan model 3 badan tiang.

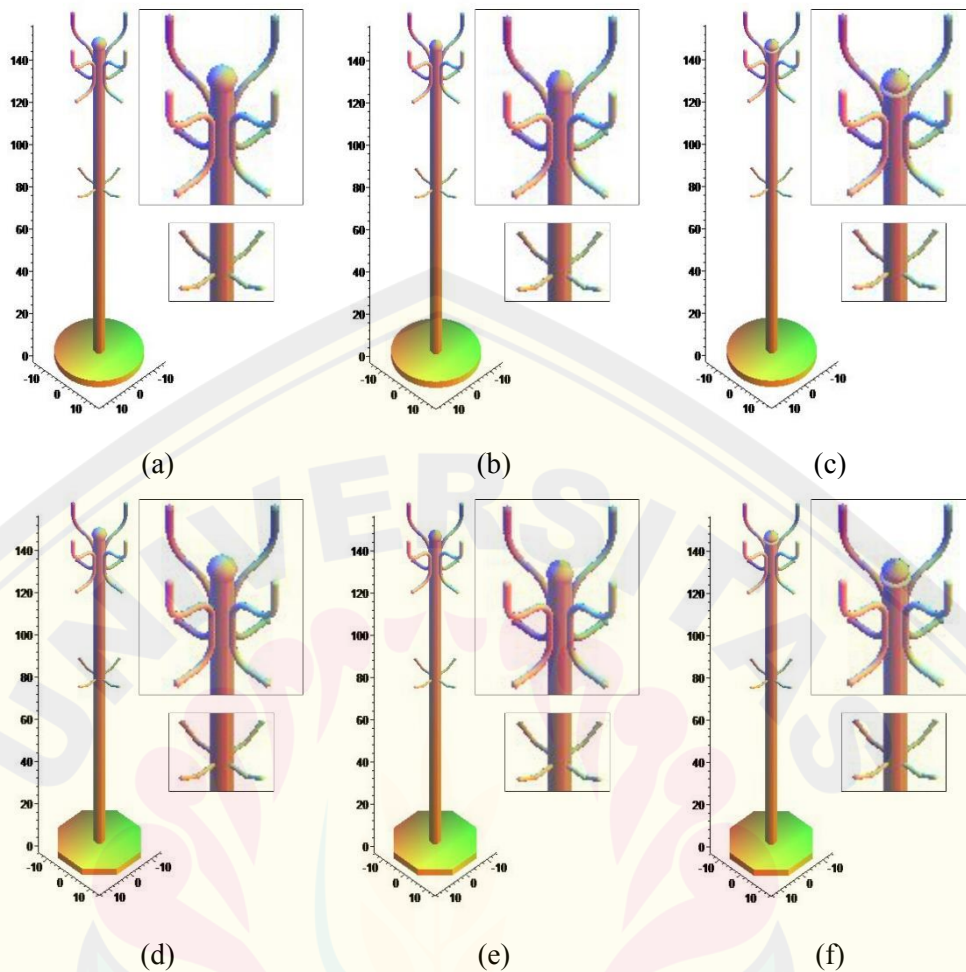


(a) Alas 1 mahkota 1; (b) Alas 1 mahkota 2; (c) Alas 1 mahkota 3
(d) Alas 2 mahkota 1; (e) Alas 2 mahkota 2; (f) Alas 2 mahkota 3

Gambar 4.26 Tiang gantungan baju model 3-1-2

c. Gantungan atas model 2 dan gantungan bawah model 1

Pada Gambar 4.27, ditunjukkan hasil kombinasi penggabungan komponen penyusun tiang gantungan baju dengan badan tiang model 3, dan gantungan bawahnya menggunakan model 1, sedangkan gantungan atas menggunakan model 2. Sama seperti pada kelompok sebelumnya, kelompok ini juga memiliki enam variasi yang dihasilkan dari pengombinasian dua model alas tiang, tiga model mahkota dan model 3 badan tiang.

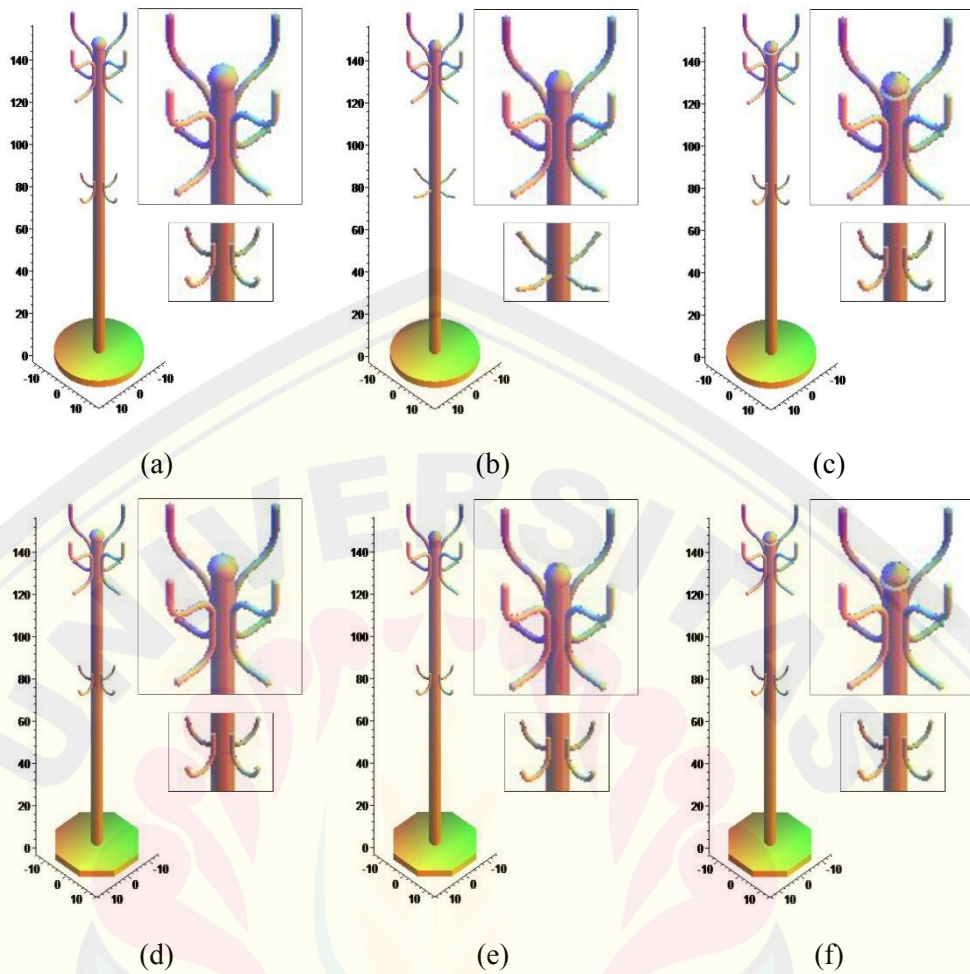


(a) Alas 1 mahkota 1; (b) Alas 1 mahkota 2; (c) Alas 1 mahkota 3
 (d) Alas 2 mahkota 1; (e) Alas 2 mahkota 2; (f) Alas 2 mahkota 3

Gambar 4.27 Tiang gantungan baju model 3-2-1

d. Gantungan atas model 2 dan gantungan bawah model 2

Pada Gambar 4.28, ditunjukkan hasil kombinasi penggabungan komponen penyusun tiang gantungan baju dengan badan tiang menggunakan model 3, sedangkan gantungan atas dan gantungan bawah menggunakan model 2. Sama seperti pada kelompok sebelumnya, kelompok ini juga memiliki enam variasi yang dihasilkan dari pengombinasian dua model alas tiang, tiga model mahkota dan model 3 badan tiang.



(a) Alas 1 mahkota 1; (b) Alas 1 mahkota 2; (c) Alas 1 mahkota 3
 (d) Alas 2 mahkota 1; (e) Alas 2 mahkota 2; (f) Alas 2 mahkota 3

Gambar 4.28 Tiang gantungan baju model 3-2-2

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan pada Bab 4, diperoleh kesimpulan bahwa hasil modelisasi tiang gantungan baju diperoleh 72 varian model yang berbeda dari penggabungan dari komponen-komponen tiang gantungan baju. Bagian alas menghasilkan 2 model, bagian tiang menghasilkan 3 model, bagian mahkota menghasilkan 3 model, bagian gantungan menghasilkan 2 model, dan pada bagian gantungan bawah menghasilkan 2 model. Bagian badan tiang dimodelisasi dengan teknik deformasi interpolasi.

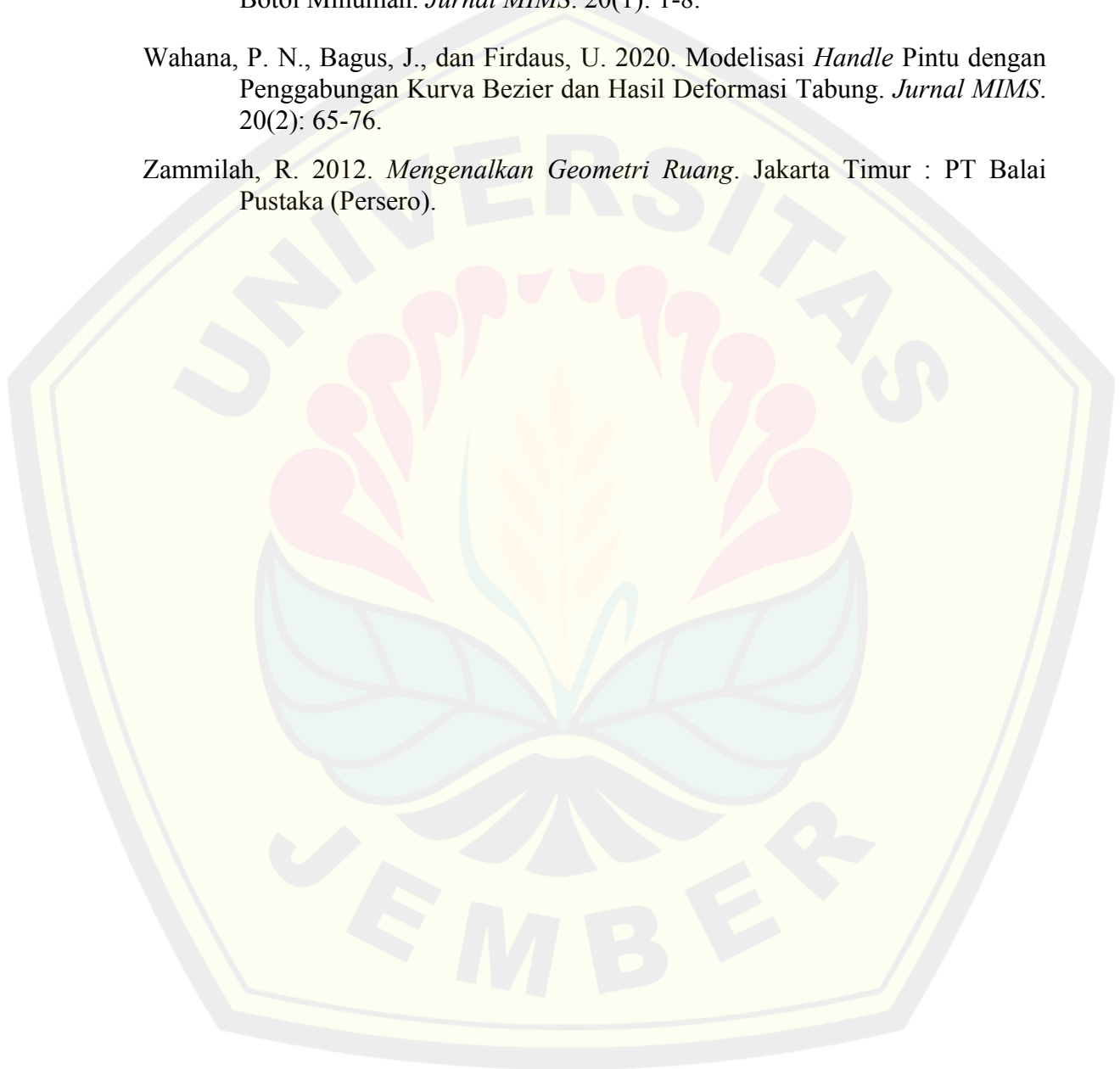
5.2 Saran

Pada skripsi ini telah diperkenalkan metode modelisasi komponen-komponen tiang gantungan baju dengan metode deformasi maupun perangkaiannya terhadap sumbu pemodelan sehingga menghasilkan model tiang penunjuk arah yang bervariasi. Diharapkan pada penelitian selanjutnya metode ini dapat dikembangkan lagi dengan menambahkan variasi pada bagian tiang dan gantungan sehingga dapat lebih memperbanyak variasi dan memperindah tampilan tiang gantungan baju. Selain itu, dapat ditambahkan penggunaan benda geometri yang lebih bervariasi sehingga menghasilkan lebih banyak model tiang gantungan baju.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyono, H. 2019. *Geometri Analitik Bidang*. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang Press.
- Emeralda, M. H. 2018. Modelisasi Tugu dengan Penggabungan Benda Dasar Geometri dan Kurva Bezier. *Skripsi*. Jember: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Enterprise, J. 2017. *HTML 5 Komplet*. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo.
- Fuat. 2020. *Geometri Datar*. Pasuruan: Lembaga Academic & Research Institue.
- Kuang, S. 1996. *Geodetic Network Analysis and Optimal Design*. Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan.
- Kusno. 2002. *Geometri Rancang Bangun Studi Aljabar Vektor Garis, Lingkaran dan Ellips*. Jember: Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Jember.
- Kusno. 2009. *Geometri Rancang Bangun: Studi tentang Desain dan Pemodelan Benda dengan Kurva dan Permukaan Berbantu Komputer*. Jember: Jember University Press.
- Kusno, 2010. *Geometri Rancang Bangun Studi Tentang Desain dan Pemodelan Benda dengan Kurva dan Permukaan Berbantu Komputer*. Jember : Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Jember.
- Kusno. 2014. Pengembangan Seni dan Teknik Desain Relief Benda-Benda Industri Kerajinan Onyx dengan Bantuan Kurva Hermit, Bezier dan Natural. *Prosiding Seminar Nasional Matematika*. Denpasar: 6 November 2014. Hal. 85-98.
- Matondang, Z. A., T. Limbong, dan L. Sitorus. 2020. *Pengantar Grafika Komputer*, Medan: Yayasan Kita Menulis.
- Putri, N. H. 2018. Modelisasi Piala dengan Penggabungan Hasil Deformasi Benda Geometri Ruang. *Skripsi*. Jember: Jurusan Matematika FMIPA Universitas Jember.
- Roebyanto, G. 2014. *Geometri, Pengukuran dan Statistik*. Malang: Gunung Samudera.
- Stillwell, J. 2004. *The Four Pillars of Geometry*. San Fransisco: Springer.

- Sugianto, E. H. 2018. Modelisasi Tiang Teras Menggunakan Hasil Deformasi Prisma Segienam, Tabung, dan Bola. *Skripsi*. Jember : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Suryadi, D. 1986. *Teori dan Soal Ilmu Ukur Analitik Ruang*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Triadi, M. B. F., Bagus, J., dan Firdaus, U. 2020. Aplikasi Kurva Bezier pada Desain Botol Minuman. *Jurnal MIMS*. 20(1): 1-8.
- Wahana, P. N., Bagus, J., dan Firdaus, U. 2020. Modelisasi *Handle* Pintu dengan Penggabungan Kurva Bezier dan Hasil Deformasi Tabung. *Jurnal MIMS*. 20(2): 65-76.
- Zammilah, R. 2012. *Mengenalkan Geometri Ruang*. Jakarta Timur : PT Balai Pustaka (Persero).



LAMPIRAN

```
restart; with(plots):
```

Lampiran 1 Model Bagian Tiang Gantungan Baju

```
PTiang := 2:# (1-Normal, 2-Cekung, 3-Cembung)
PALas := 2:# (1-Lingkaran, 2-Segi 8)
PUjung := 3:# (1-Bola, 2-Kubah 1 lengkung, 3-Kubah 2
    lengkung)
PATas := 1:# (1-Gantungan atas model 1, 2-Gantungan atas
    model 2)
PBawah := 2: # (1-Gantungan bawah model 1, 2-Gantungan
    bawah model 2)
```

Lampiran 2 Fungsi

a. Segmen Garis

```
SegGaris:=(P0,P1,u)->(1-u)*P0 + u*P1:
```

b. Beizer

```
Bezier2:=(P0,P1,P2,u)->(1-u)^2*P0+2*(1-u)*u*P1+u^2
    *P2:
```

```
Bezier3:=(P0,P1,P2,P3,u)->(1-u)^3*P0+3*(1-u)^2*u*
    P1+3*(1-u)*u^2*P2+u^3*P3:
```

c. Silinder

```
TZ:=(r1,r2,t,a,b,c,u,v)->[r1*cos(u)+a,r2*sin(u)+b,
    t*v+c]:
```

```
TX:=(r1,r2,t,a,b,c,u,v)->[t*v+a,r1*cos(u)+b,r2*sin
    (u)+c]:
```

```
TY:=(r1,r2,t,a,b,c,u,v)->[r1*cos(u)+a,t*v+b,r2*sin
    (u)+c]:
```

d. Lingkaran

```
LZ:=(r1,r2,a,b,c,u,v)->[r1*v*cos(u)+a,r2*v*sin(u)+
    b,c]:
```

e. Bola

```
BZ:=(r1,r2,r3,a,b,c,u,v)->[r1*sin(u)*cos(v)+a,r2*
    sin(u)*sin(v)+b, r3*cos(u)+c]:
```

f. Torus

```
ToX:=(R,r,a,b,c,u,v)->[r*sin(v)+a,(R+r*cos(v))*cos
    (u)+b,(R+r*cos(v))*sin(u)+c]:
```

```
ToY:=(R,r,a,b,c,u,v)->[(R+r*cos(v))*cos(u)+a,r*sin
    (v)+b,(R+r*cos(v))*sin(u)+c]:
```

g. Interpolasi

$$IP1 := (C1, C2, v) \rightarrow (1-v) * C1 + v * C2:$$
Lampiran 3 Ukuran dan Koordinat

a. Ukuran Tiang

$$RTiang := 2:$$

$$S1 := RTiang / \sin(135/360 * \text{Pi}) * \sin(45/180 * \text{Pi}):$$

$$T1 := \text{sqrt}(RTiang^2 - (S1/2)^2):$$

b. Ukuran Alas

$$RAlas := 15:$$

$$S2 := RAlas / \sin(135/360 * \text{Pi}) * \sin(45/180 * \text{Pi}):$$

$$T2 := \text{sqrt}(RAlas^2 - (S2/2)^2)$$

c. Koordinat Tiang

$$TAXT := S1/2: TAYT := -T1:$$

$$TBxT := T1: TByT := -S1/2:$$

$$TCxT := T1: TCyT := S1/2:$$

$$TDxT := S1/2: TDyT := T1:$$

$$TExT := -S1/2: TEyT := T1:$$

$$TFxT := -T1: TFyT := S1/2:$$

$$TGxT := -T1: TGyT := -S1/2:$$

$$THxT := -S1/2: THyT := -T1:$$

$$TABxT := (TAXT + TBxT) / 2: TAByT := (TAYT + TByT) / 2:$$

$$TCDxT := (TCxT + TDxT) / 2: TCDyT := (TCyT + TDyT) / 2:$$

$$TEFxT := (TExT + TFxT) / 2: TEFyT := (TEyT + TFyT) / 2:$$

$$TGHxT := (TGxT + THxT) / 2: TGHyT := (TGyT + THyT) / 2:$$

$$\text{if } (PTiang = 1) \text{ then}$$

$$TAB1xT := TABxT: TAB1yT := TAByT:$$

$$TCD1xT := TCDxT: TCD1yT := TCDyT:$$

$$TEF1xT := TEFxT: TEF1yT := TEFyT:$$

$$TGH1xT := TGHxT: TGH1yT := TGHyT:$$

$$\text{elif } (PTiang = 2) \text{ then}$$

$$TAB1xT := 0,8 * TABxT: TAB1yT := 0,8 * TAByT:$$

$$TCD1xT := 0,8 * TCDxT: TCD1yT := 0,8 * TCDyT:$$

$$TEF1xT := 0,8 * TEFxT: TEF1yT := 0,8 * TEFyT:$$

$$TGH1xT := 0,8 * TGHxT: TGH1yT := 0,8 * TGHyT:$$

$$\text{elif } (PTiang = 3) \text{ then}$$

$$TAB1xT := 1,2 * TABxT: TAB1y := 1,2 * TAByT:$$

$$TCD1xT := 1,2 * TCDxT: TCD1y := 1,2 * TCDyT:$$

$$TEF1xT := 1,2 * TEFxT: TEF1y := 1,2 * TEFyT:$$

$$TGH1xT := 1,2 * TGHxT: TGH1y := 1,2 * TGHyT:$$

$$\text{fi:}$$

d. Koordinat Alas

$$TAXA := S2/2: TAYA := -T2:$$

$$TBxA := T2: TByA := -S2/2:$$

$$TCxA := T2: TCyA := S2/2:$$

$$TDxA := S2/2: TDyA := T2:$$

```

TExA := -S2/2: TEyA := T2:
TFxA := -T2: TFyA := S2/2:
TGxA := -T2: TGyA := -S2/2:
THxA := -S2/2: THyA := -T2:

```

Lampiran 4 Modelisasi Tiang

Bagian Datar

```

Ct1:=plot3d([IP1(SegGaris(THxT,TAxT,u),SegGaris(THxT,TAxT,u),v),IP1(SegGaris(THyT,TAyT,u),SegGaris(THyT,TAyT,u),v),IP1(SegGaris(0,0,u),SegGaris(147.5,147.5,u),v)],u=0..1,v=0..1):
Ct2:=plot3d([IP1(SegGaris(TBxT,TCxT,u),SegGaris(TBxT,TCxT,u),v),IP1(SegGaris(TByT,TCyT,u),SegGaris(TByT,TCyT,u),v),IP1(SegGaris(0,0,u),SegGaris(147.5,147.5,u),v)],u=0..1,v=0..1):
Ct3:=plot3d([IP1(SegGaris(TDxT,TEdT,u),SegGaris(TDxT,TEdT,u),v),IP1(SegGaris(TDyT,TEdT,u),SegGaris(TDyT,TEdT,u),v),IP1(SegGaris(0,0,u),SegGaris(147.5,147.5,u),v)],u=0..1,v=0..1):
Ct4:=plot3d([IP1(SegGaris(TFxT,TGxT,u),SegGaris(TFxT,TGxT,u),v),IP1(SegGaris(TFyT,TGyT,u),SegGaris(TFyT,TGyT,u),v),IP1(SegGaris(0,0,u),SegGaris(147.5,147.5,u),v)],u=0..1,v=0..1):

```

Bagian Deformasi

```

Ct5:=plot3d([IP1(Bezier2(TAxT,TAB1xT,TBxT,u),Bezier2(TAxT,TAB1xT,TBxT,u),v),IP1(Bezier2(TAyT,TAB1yT,TByT,u),Bezier2(TAyT,TAB1yT,TByT,u),v),IP1(Bezier2(0,0,0,u),Bezier2(147.5,147.5,147.5,u),v)],u=0..1,v=0..1):
Ct6:=plot3d([IP1(Bezier2(TCxT,TCD1xT,TDxT,u),Bezier2(TCxT,TCD1xT,TDxT,u),v),IP1(Bezier2(TCyT,TCD1yT,TDyT,u),Bezier2(TCyT,TCD1yT,TDyT,u),v),IP1(Bezier2(0,0,0,u),Bezier2(147.5,147.5,147.5,u),v)],u=0..1,v=0..1):
Ct7:=plot3d([IP1(Bezier2(TEdT,TEF1xT,TFxT,u),Bezier2(TEdT,TEF1xT,TFxT,u),v),IP1(Bezier2(TEdT,TEF1yT,TFyT,u),Bezier2(TEdT,TEF1yT,TFyT,u),v),IP1(Bezier2(0,0,0,u),Bezier2(147.5,147.5,147.5,u),v)],u=0..1,v=0..1):
Ct8:=plot3d([IP1(Bezier2(TGxT,TGH1xT,THxT,u),Bezier2(TGxT,TGH1xT,THxT,u),v),IP1(Bezier2(TGyT,TGH1yT,THyT,u),Bezier2(TGyT,TGH1yT,THyT,u),v),IP1(Bezier2(0,0,0,u),Bezier2(147.5,147.5,147.5,u),v)],u=0..1,v=0..1):
Tiang := Ct1,Ct2,Ct3,Ct4,Ct5,Ct6,Ct7,Ct8:

```

```
display([Tiang], style=surface, lightmodel=light2,
        axes=boxed):
```

Lampiran 5 Modelisasi Alas

```
if (PAlas = 1) then
  Ca1:= plot3d(LZ(RAlas,RAlas,0,0,0,u,v), u=0..2*Pi,
              v=0..1):
  Ca2:= plot3d(TZ(RAlas,RAlas,3,0,0,0,u,v), u=0..2*Pi,
              v=0..1):
  Ca3:= plot3d(LZ(RAlas,RAlas,0,0,3,u,v), u=0..2*Pi,
              v=0..1):
  Alas := Ca1,Ca2,Ca3:
else
  # Bagian Bawah
  Ca1:=plot3d([IP1(SegGaris(THxA,TGxA,u),SegGaris(TAxA,
    TBxA,u),v),IP1(SegGaris(THyA,TGyA,u),SegGaris(TAyA,
    TByA,u),v),IP1(SegGaris(0,0,u),SegGaris(0,0,u),v)],
    u=0..1, v=0..1):
  Ca2:=plot3d([IP1(SegGaris(TGxA,TFxA,u),SegGaris(TBxA,
    TCxA,u),v),IP1(SegGaris(TGyA,TFyA,u),SegGaris(TByA,
    TCyA,u),v),IP1(SegGaris(0,0,u),SegGaris(0,0,u),v)],
    u=0..1, v=0..1):
  Ca3:=plot3d([IP1(SegGaris(TFxA,TExA,u),SegGaris(TCxA,
    TDxA,u),v),IP1(SegGaris(TFyA,TEyA,u),SegGaris(TCyA,
    TDyA,u),v),IP1(SegGaris(0,0,u),SegGaris(0,0,u),v)],
    u=0..1, v=0..1):
  # Bagian Samping
  Ca4:=plot3d([IP1(SegGaris(TAxA,TBxA,u),SegGaris(TAxA,
    TBxA,u),v),IP1(SegGaris(TAyA,TByA,u),SegGaris(TAyA,
    TByA,u),v),IP1(SegGaris(0,0,u),SegGaris(3,3,u),v)],
    u=0..1, v=0..1):
  Ca5:=plot3d([IP1(SegGaris(TBxA,TCxA,u),SegGaris(TBxA,
    TCxA,u),v),IP1(SegGaris(TByA,TCyA,u),SegGaris(TByA,
    TCyA,u),v),IP1(SegGaris(0,0,u),SegGaris(3,3,u),v)],
    u=0..1, v=0..1):
  Ca6:=plot3d([IP1(SegGaris(TCxA,TDxA,u),SegGaris(TCxA,
    TDxA,u),v),IP1(SegGaris(TCyA,TDyA,u),SegGaris(TCyA,
    TDyA,u),v),IP1(SegGaris(0,0,u),SegGaris(3,3,u),v)],
    u=0..1, v=0..1):
  Ca7:=plot3d([IP1(SegGaris(TDxA,TExA,u),SegGaris(TDxA,
    TExA,u),v),IP1(SegGaris(TDyA,TEyA,u),SegGaris(TDyA,
    TEyA,u),v),IP1(SegGaris(0,0,u),SegGaris(3,3,u),v)],
    u=0..1, v=0..1):
  Ca8:=plot3d([IP1(SegGaris(TExA,TFxA,u),SegGaris(TExA,
    TFxA,u),v),IP1(SegGaris(TEyA,TFyA,u),SegGaris(TEyA,
    TFyA,u),v),IP1(SegGaris(0,0,u),SegGaris(3,3,u),v)],
    u=0..1, v=0..1):
```

```

is (TEyA, TFyA, u), v), IP1 (SegGaris (0, 0, u), SegGaris
s (3, 3, u), v)], u=0..1, v=0..1):
Ca9:=plot3d([IP1 (SegGaris (TFxA, TGxA, u), SegGaris (TF
xA, TGxA, u), v), IP1 (SegGaris (TFyA, TGyA, u), SegGar
is (TFyA, TGyA, u), v), IP1 (SegGaris (0, 0, u), SegGari
s (3, 3, u), v)], u=0..1, v=0..1):
Ca10:=plot3d([IP1 (SegGaris (TGxA, THxA, u), SegGaris (T
GxA, THxA, u), v), IP1 (SegGaris (TGyA, THyA, u), SegGar
is (TGyA, THyA, u), v), IP1 (SegGaris (0, 0, u), SegGar
is (3, 3, u), v)], u=0..1, v=0..1):
Ca11:=plot3d([IP1 (SegGaris (THxA, TAxA, u), SegGaris (T
HxA, TAxA, u), v), IP1 (SegGaris (THyA, TAYA, u), SegGar
is (THyA, TAYA, u), v), IP1 (SegGaris (0, 0, u), SegGar
is (3, 3, u), v)], u=0..1, v=0..1):
# Bagian Atas
Ca12:=plot3d([IP1 (SegGaris (THxA, TGxA, u), SegGaris (T
AxA, TBxA, u), v), IP1 (SegGaris (THyA, TGyA, u), SegG
aris (TAYA, TBYA, u), v), IP1 (SegGaris (3, 3, u), SegG
aris (3, 3, u), v)], u=0..1, v=0..1):
Ca13:=plot3d([IP1 (SegGaris (TGxA, TFxA, u), SegGaris (T
BxA, TCxA, u), v), IP1 (SegGaris (TGyA, TFyA, u), SegG
aris (TBYA, TCyA, u), v), IP1 (SegGaris (3, 3, u), SegG
aris (3, 3, u), v)], u=0..1, v=0..1):
Ca14:=plot3d([IP1 (SegGaris (TFxA, TExA, u), SegGaris (T
CxA, TDxA, u), v), IP1 (SegGaris (TFyA, TEyA, u), SegG
aris (TCyA, TDyA, u), v), IP1 (SegGaris (3, 3, u), SegG
aris (3, 3, u), v)], u=0..1, v=0..1):
Alas:=Ca1, Ca2, Ca3, Ca4, Ca5, Ca6, Ca7, Ca8, Ca9, Ca10, Ca1
1, Ca12, Ca13, Ca14:
fi:
display([Alas], style=surface, lightmodel=light2,
scaling=constrained, axes=boxed):

```

Lampiran 6 Modelisasi Ujung Tiang

```

if (PUjung=1) then
  Ujung:=plot3d(BZ(2, 5, 2, 5, 2, 5, 0, 0, 147.5, u, v), u=0..2
  *Pi, v=0..2*Pi):
elif (PUjung=2) then
  Ujung:=plot3d([Bezier3(1, 5, 3, 5, 1, 0, u)*cos(v), Bezier
3(1, 5, 3, 5, 1, 0, u)*sin(v), Bezier3(145, 147.5, 149, 150, u
)], u=0..1, v=0..2*Pi):
else
  Cul:=plot3d([Bezier2(1, 5, 3, 5, 2, u)*cos(v), Bezier2(1.
5, 3, 5, 2, u)*sin(v), Bezier2(145, 145.5, 146, u)], u=
0..1, v=0..2*Pi):

```

```

Cu2:=plot3d([Bezier3(2,3,5,0,0,u)*cos(v),Bezier3(2,
3,5,0,0,u)*sin(v),Bezier3(146,148,149,150,u)],
u=0..1, v=0..2*Pi):
Ujung:=Cu1,Cu2:
fi:
display([Ujung],style=surface,lightmodel=light2,
scaling=constrained, axes=boxed):

```

Lampiran 7 Modelisasi Gantungan Atas

1. Model 1

Bagian Vertikal

```

Sala1:=plot3d(TZ(0,6,0,6,8,0,-T1-0,6,132,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..1):
Sala2:=plot3d(TZ(0,6,0,6,8,T1+0,6,0,132,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..1):
Sala3:=plot3d(TZ(0,6,0,6,8,0,T1+0,6,132,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..1):
Sala4:=plot3d(TZ(0,6,0,6,8,-T1-0,6,0,132,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..1):

```

Bagian Lengkung

```

Salb1:=plot3d(ToX(4,0,6,0,-T1-4,6,132,u,v),
u=Pi..2*Pi, v=0..2*Pi):
Salb2:=plot3d(ToY(4,0,6,T1+4,6,0,132,u,v),
u=Pi..2*Pi, v=0..2*Pi):
Salb3:=plot3d(ToX(4,0,6,0,T1+4,6,132,u,v),
u=Pi..2*Pi, v=0..2*Pi):
Salb4:=plot3d(ToY(4,0,6,-T1-4,6,0,132,u,v),
u=Pi..2*Pi, v=0..2*Pi):

```

Bola Bawah

```

Salc1:=plot3d(BZ(0,75,0,75,0,75,0,-T1-8,6,132,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..2*Pi):
Salc2:=plot3d(BZ(0,75,0,75,0,75,T1+8,6,0,132,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..2*Pi):
Salc3:=plot3d(BZ(0,75,0,75,0,75,0,T1+8,6,132,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..2*Pi):
Salc4:=plot3d(BZ(0,75,0,75,0,75,-T1-8,6,0,132,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..2*Pi):

```

Bagian Miring

```

Sald1:=plot3d([0,6*cos(u)+0,(0,6*sin(u))*cos(40/180*Pi)-
(16*v)*sin(40/180*Pi)-T10,6,(0,6*sin(u))*sin(40/180*Pi)+
(16*v)*cos(40/180*Pi)+140],
u=0..2*Pi, v=0..1):
Sald2:=plot3d([(0,6*cos(u))*cos(40/180*Pi)+(16*v)*sin(40/180*Pi)+T1+0,6,0,6*sin(u)+0,(0,6*cos(u)

```

```

    )) * sin(40/180 * Pi) + (16 * v) * cos(40/180 * Pi) + 140],
    u = 0..2 * Pi, v = 0..1):
Sa1d3 := plot3d([0, 6 * cos(u) + 0, (0, 6 * sin(u)) * cos(40/180
0 * Pi) + (16 * v) * sin(40/180 * Pi) + T1 + 0, 6, (0, 6 * sin(u)
)) * sin(40/180 * Pi) + (16 * v) * cos(40/180 * Pi) + 140],
    u = 0..2 * Pi, v = 0..1):
Sa1d4 := plot3d([(0, 6 * cos(u)) * cos(40/180 * Pi) - (16 * v) *
sin(40/180 * Pi) - T1 - 0, 6, 0, 6 * sin(u) + 0, (0, 6 * cos(u)
)) * sin(40/180 * Pi) + (16 * v) * cos(40/180 * Pi) + 140],
    u = 0..2 * Pi, v = 0..1):
# Bola Sudut
Sale1 := plot3d(BZ(0, 6, 0, 6, 0, 6, 0, -T1 - 0, 6, 140, u, v),
u = 0..2 * Pi, v = 0..2 * Pi):
Sale2 := plot3d(BZ(0, 6, 0, 6, 0, 6, T1 + 0, 6, 0, 140, u, v),
u = 0..2 * Pi, v = 0..2 * Pi):
Sale3 := plot3d(BZ(0, 6, 0, 6, 0, 6, 0, T1 + 0, 6, 140, u, v),
u = 0..2 * Pi, v = 0..2 * Pi):
Sale4 := plot3d(BZ(0, 6, 0, 6, 0, 6, -T1 - 0, 6, 0, 140, u, v),
u = 0..2 * Pi, v = 0..2 * Pi):
# Bola Atas
Sa1f1 := plot3d(BZ(0, 75, 0, 75, 0, 75, 0, -(16) * sin(40/180
* Pi) - T1 - 0, 6, (16) * cos(40/180 * Pi) + 140, u, v), u = 0..
2 * Pi, v = 0..2 * Pi):
Sa1f2 := plot3d(BZ(0, 75, 0, 75, 0, 75, (16) * sin(40/180 * Pi
) + T1 + 0, 6, 0, (16) * cos(40/180 * Pi) + 140, u, v), u = 0..2
* Pi, v = 0..2 * Pi):
Sa1f3 := plot3d(BZ(0, 75, 0, 75, 0, 75, 0, (16) * sin(40/180 *
Pi) + T1 + 0, 6, (16) * cos(40/180 * Pi) + 140, u, v), u = 0..2
* Pi, v = 0..2 * Pi):
Sa1f4 := plot3d(BZ(0, 75, 0, 75, 0, 75, -(16) * sin(40/180 *
Pi) - T1 - 0, 6, 0, (16) * cos(40/180 * Pi) + 140, u, v), u = 0
..2 * Pi, v = 0..2 * Pi):
Atas1 := Sa1a1, Sa1a2, Sa1a3, Sa1a4, Sa1b1, Sa1b2, Sa1b3, Sa1b4,
Sa1c1, Sa1c2, Sa1c3, Sa1c4, Sa1d1, Sa1d2, Sa1d3, Sa1d4, Sa1e1, Sa1e2,
Sa1e3, Sa1e4, Sa1f1, Sa1f2, Sa1f3, Sa1f4:

```

2. Model 2

Bagian Vertikal Dalam

```

Sa2a1 := plot3d(TZ(0, 6, 0, 6, 6, 0, -T1 - 0, 6, 132, u, v),
u = 0..2 * Pi, v = 0..1):
Sa2a2 := plot3d(TZ(0, 6, 0, 6, 6, T1 + 0, 6, 0, 132, u, v),
u = 0..2 * Pi, v = 0..1):
Sa2a3 := plot3d(TZ(0, 6, 0, 6, 6, 0, T1 + 0, 6, 132, u, v),
u = 0..2 * Pi, v = 0..1):
Sa2a4 := plot3d(TZ(0, 6, 0, 6, 6, -T1 - 0, 6, 0, 132, u, v),
u = 0..2 * Pi, v = 0..1):

```

Bagian Lengkung Bawah

```

Sa2b1:=plot3d(ToX(4,0,6,0,-T1-4,6,132,u,v),
u=3*Pi/2..2*Pi, v=0..2*Pi):
Sa2b2:=plot3d(ToY(4,0,6,T1+4,6,0,132,u,v),
u=Pi..3*Pi/2, v=0..2*Pi):
Sa2b3:=plot3d(ToX(4,0,6,0,T1+4,6,132,u,v),u=Pi..3*
Pi/2, v=0..2*Pi):
Sa2b4:=plot3d(ToY(4,0,6,-T1-4,6,0,132,u,v),u=3*Pi
/2..2*Pi, v=0..2*Pi):

```

Bagian Horizontal

```

Sa2c1:=plot3d(TY(0,6,0,6,-4,0,-T1-4,6,128,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..1):
Sa2c2:=plot3d(TX(0,6,0,6,4,T1+4,6,0,128,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..1):
Sa2c3:=plot3d(TY(0,6,0,6,4,0,T1+4,6,128,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..1):
Sa2c4:=plot3d(TX(0,6,0,6,-4,-T1-4,6,0,128,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..1):

```

Bola Bawah

```

Sa2d1:=plot3d(BZ(0,75,0,75,0,75,0,-T1-8,6,128,u,v)
,u=0..2*Pi, v=0..2*Pi):
Sa2d2:=plot3d(BZ(0,75,0,75,0,75,T1+8,6,0,128,u,v)
,u=0..2*Pi, v=0..2*Pi):
Sa2d3:=plot3d(BZ(0,75,0,75,0,75,0,T1+8,6,128,u,v)
,u=0..2*Pi, v=0..2*Pi):
Sa2d4:=plot3d(BZ(0,75,0,75,0,75,-T1-8,6,0,128,u,v)
,u=0..2*Pi, v=0..2*Pi):

```

Bagian Lengkung Atas Dalam

```

Sa2e1:=plot3d(ToX(5,0,6,0,-T1-5,6,138,u,v),
u=0..Pi/2, v=0..2*Pi):
Sa2e2:=plot3d(ToY(5,0,6,T1+5,6,0,138,u,v),
u=Pi/2..Pi, v=0..2*Pi):
Sa2e3:=plot3d(ToX(5,0,6,0,T1+5,6,138,u,v),
u=Pi/2..Pi, v=0..2*Pi):
Sa2e4:=plot3d(ToY(5,0,6,-T1-5,6,0,138,u,v),
u=0..Pi/2, v=0..2*Pi):

```

Bagian Lengkung Atas Luar

```

Sa2f1:=plot3d(ToX(5,0,6,0,-T1-5,6,148,u,v),
u=Pi..3*Pi/2, v=0..2*Pi):
Sa2f2:=plot3d(ToY(5,0,6,T1+5,6,0,148,u,v),
u=3*Pi/2..2*Pi, v=0..2*Pi):
Sa2f3:=plot3d(ToX(5,0,6,0,T1+5,6,148,u,v),
u=3*Pi/2..2*Pi, v=0..2*Pi):
Sa2f4:=plot3d(ToY(5,0,6,-T1-5,6,0,148,u,v),
u=Pi..3*Pi/2, v=0..2*Pi):

```

Bagian Vertikal Luar


```

Sa2g1:=plot3d(TZ(0,6,0,6,5,0,-T1-10,6,148,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..1):
Sa2g2:=plot3d(TZ(0,6,0,6,5,T1+10,6,0,148,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..1):
Sa2g3:=plot3d(TZ(0,6,0,6,5,0,T1+10,6,148,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..1):
Sa2g4:=plot3d(TZ(0,6,0,6,5,-T1-10,6,0,148,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..1):
# Bola Atas
Sa2h1:=plot3d(BZ(0,75,0,75,0,75,0,-T1-10,6,153,
u,v), u=0..2*Pi, v=0..2*Pi):
Sa2h2:=plot3d(BZ(0,75,0,75,0,75,T1+10,6,0,153,u,
v), u=0..2*Pi, v=0..2*Pi):
Sa2h3:=plot3d(BZ(0,75,0,75,0,75,0,T1+10,6,153,u,
v), u=0..2*Pi, v=0..2*Pi):
Sa2h4:=plot3d(BZ(0,75,0,75,0,75,-T1-10,6,0,153,u,
v), u=0..2*Pi, v=0..2*Pi):
Atas2:=Sa2a1,Sa2a2,Sa2a3,Sa2a4,Sa2b1,Sa2b2,Sa2b3,
Sa2b4,Sa2c1,Sa2c2,Sa2c3,Sa2c4,Sa2d1,Sa2d2,Sa2d3,Sa2d4,
Sa2e1,Sa2e2,Sa2e3,Sa2e4,Sa2f1,Sa2f2,Sa2f3,Sa2f4,
Sa2g1,Sa2g2,Sa2g3,Sa2g4,Sa2h1,Sa2h2,Sa2h3,Sa2h4
:
if (PAtas = 1) then
  GAtas := Atas1:
else
  GAtas := Atas2:
fi:
display([GAtas],style=surface,lightmodel=light2,
scaling=constrained, axes=boxed):

```

Lampiran 8 Modelisasi Gantungan Bawah

1. Model 1

```

# Bagian Horizontal
Sb1a1:=plot3d(TY(0,4,0,4,-4,0,-T1,80,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..1):
Sb1a2:=plot3d(TX(0,4,0,4,4,T1,0,80,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..1):
Sb1a3:=plot3d(TY(0,4,0,4,4,0,T1,80,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..1):
Sb1a4:=plot3d(TX(0,4,0,4,-4,-T1,0,80,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..1):
# Bagian Miring
Sb1b1:=plot3d([0,4*cos(u)+0,(-4*v)*cos(30/180*Pi)
+(0,4*sin(u))*sin(30/180*Pi)-T1-4,-(-4*v)*sin(30/180*Pi)
+(0,4*sin(u))*cos(30/180*Pi)+80],u=0..2*Pi, v=0..1):

```

```

Sb1b2:=plot3d([(4*v)*cos(30/180*Pi)-(0,4*cos(u))
*sin(30/180*Pi)+T1+4,0,4*sin(u)+0,(4*v)*sin(30/180
*Pi)+(0,4*cos(u))*cos(30/180*Pi)+80],u=0..2*Pi,
v=0..1):
Sb1b3:=plot3d([0,4*cos(u)+0,(4*v)*cos(30/180*Pi)-
(0,4*sin(u))*sin(30/180*Pi)+T1+4,(4*v)*sin(30/180*
Pi)+(0,4*sin(u))*cos(30/180*Pi)+80],u=0..2*Pi,
v=0..1):
Sb1b4:=plot3d([(-4*v)*cos(30/180*Pi)+(0,4*cos(u))
*sin(30/180*Pi)-T1-4,0,4*sin(u)+0,-(-4*v)*sin(30/
180*Pi)+(0,4*cos(u))*cos(30/180*Pi)+80],u=0..2*Pi,
v=0..1):

```

Bola Sudut

```

Sb1c1:=plot3d(BZ(0,4,0,4,0,4,0,-T1-4,80,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..2*Pi):
Sb1c2:=plot3d(BZ(0,4,0,4,0,4,T1+4,0,80,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..2*Pi):
Sb1c3:=plot3d(BZ(0,4,0,4,0,4,0,T1+4,80,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..2*Pi):
Sb1c4:=plot3d(BZ(0,4,0,4,0,4,-T1-4,0,80,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..2*Pi):

```

Bola Ujung

```

Sb1d1:= plot3d(BZ(0,5,0,5,0,5,0,-4*cos(30/180*Pi)-
T1-4,4*sin(30/180*Pi)+80,u,v),u=0..2*Pi,
v=0..2*Pi):
Sb1d2:=plot3d(BZ(0,5,0,5,0,5,4*cos(30/180*Pi)+T1+4
,0,4*sin(30/180*Pi)+80,u,v),u=0..2*Pi, v=0..2*Pi):
Sb1d3:=plot3d(BZ(0,5,0,5,0,5,0,4*cos(30/180*Pi)+T1
+4,4*sin(30/180*Pi)+80,u,v),u=0..2*Pi, v=0..2*Pi):
Sb1d4 := plot3d(BZ(0,5,0,5,0,5,-4*cos(30/180*Pi)-
T1-4,0,4*sin(30/180*Pi)+80,u,v),u=0..2*Pi,
v=0..2*Pi):
Bawah1:=Sb1a1,Sb1a2,Sb1a3,Sb1a4,Sb1b1,Sb1b2,Sb1b3,
Sb1b4,Sb1c1,Sb1c2,Sb1c3,Sb1c4,Sb1d1,Sb1d2,Sb1d3,Sb
1d4:

```

2. Model 2

Bagian Vertikal

```

Sb2a1:=plot3d(TZ(0,4,0,4,4,0,-T1-0,4,80,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..1):
Sb2a2:=plot3d(TZ(0,4,0,4,4,T1+0,4,0,80,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..1):
Sb2a3:=plot3d(TZ(0,4,0,4,4,0,T1+0,4,80,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..1):
Sb2a4:=plot3d(TZ(0,4,0,4,4,-T1-0,4,0,80,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..1):

```

Bagian Lengkung

```

Sb2b1:=plot3d(ToX(3,0,4,0,-T1-3,4,80,u,v),
u=Pi..2*Pi, v=0..2*Pi):
Sb2b2:=plot3d(ToY(3,0,4,T1+3,4,0,80,u,v),
u=Pi..2*Pi, v=0..2*Pi):
Sb2b3:=plot3d(ToX(3,0,4,0,T1+3,4,80,u,v),
u=Pi..2*Pi, v=0..2*Pi):
Sb2b4:=plot3d(ToY(3,0,4,-T1-3,4,0,80,u,v),
u=Pi..2*Pi, v=0..2*Pi):
# Bola Bawah
Sb2c1:=plot3d(BZ(0,5,0,5,0,5,0,-T1-6,4,80,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..2*Pi):
Sb2c2:=plot3d(BZ(0,5,0,5,0,5,T1+6,4,0,80,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..2*Pi):
Sb2c3:=plot3d(BZ(0,5,0,5,0,5,0,T1+6,4,80,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..2*Pi):
Sb2c4:=plot3d(BZ(0,5,0,5,0,5,-T1-6,4,0,80,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..2*Pi):
# Bagian Vertikal
Sb2d1:=plot3d(LZ(0,4,0,4,0,-T1-0,4,84,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..1):
Sb2d2:=plot3d(LZ(0,4,0,4,T1+0,4,0,84,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..1):
Sb2d3:=plot3d(LZ(0,4,0,4,0,T1+0,4,84,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..1):
Sb2d4:=plot3d(LZ(0,4,0,4,-T1-0,4,0,84,u,v),
u=0..2*Pi, v=0..1):
Bawah2:=Sb2a1,Sb2a2,Sb2a3,Sb2a4,Sb2b1,Sb2b2,Sb2b3,
Sb2b4,Sb2c1,Sb2c2,Sb2c3,Sb2c4,Sb2d1,Sb2d2,Sb2d3,Sb
2d4:
if (PBawah = 1) then
  GBawah := Bawah1:
else
  GBawah := Bawah2:
fi:
display([GBawah],style=surface,lightmodel=light2,
scaling=constrained, axes=boxed):

```

Lampiran 9 Gabungan

```

display([Tiang,Alas,Ujung,GAtas,GBawah], style=surface,
lightmodel=light2, scaling=constrained, axes=boxed):

```