

DESAIN RELIEF PILAR BANGUNAN

RELIEF DESIGN OF BUILDING PILLAR

Idam Djunaedi
Guru Matematika SMPN 1 Rowokangkung
Email: idham4n@yahoo.com

Abstract

Pillar is element of building it functions to support buiding; moreover it also functions to decorate the shape of building. The technique, to build model of relief surface on this pillar can be conducted by: (1) constructing relief profile of curve shape then moving to have variation such as the thickness of different relief, highrise, concave or domeshape surface, and also multi surfaces, (2) modifying upper side shape and angulared pyramide upper side and also building highrisely with resulted in several various models such as contributing multi shape surfaces (concave, domeshape, spinning model) and highrising with first level in the form of angulared pyramides and the second level can be filled one, four, and five of pyramide or ball part; (3) constructing tube part and ellipsis pieces if it is given different radiant on that tube it will result in the different thickness, if four pieces of ellipsis come up from the same center then they are interpolated, it will be found different multi domeshape. Fill in several models of the above result into surface matrix of terrace pole. The fulfillment surface matrix of terrace pole contributes various simetrical model (one simetrical axis, two simetrical axis, and in-line simetric) which can shape the beauty of terrace pole.

Keyword: building pillar, relief surface model

1. Pendahuluan

Pilar termasuk elemen bangunan yang berfungsi untuk menyangga gedung, selain itu juga berfungsi untuk memperindah bentuk bangunan. Pilar-pilar bangunan tersebut banyak kita jumpai pada bangunan hotel, teras rumah, masjid, gapura dan pagar rumah.

Dari beberapa bentuk model pilar yang sudah ada seperti ditunjukkan Gambar 1 memiliki beberapa kelebihan antara lain bahannya kuat karena terbuat dari beton dan bentuknya terdiri dari potongan-potongan sehingga memudahkan untuk pengangkutan. Dari segi geometri bentuk permukaannya tidak datar lagi tapi melengkung dan sudah berrelief. Namun pilar-pilar yang sudah jadi juga memiliki kelemahan dari segi geometris polanya masih satu arah yaitu horisontal belum ada yang vertikal dan reliefnya masih berupa benda putar.

Hasil penelitian Edi Santoso (2003) tentang Modelisasi Bentuk Blok Asesoris Bangunan yang berbentuk tiang teras, roster dan pot bunga membahas masalah prosedur konstruksi tiang teras dari bangun balok, tabung, bola dan gabungannya. Aplikasi dari penelitian ini dapat digunakan untuk membangun tiang teras melalui teknik refleksi dan dilatasi. Dari hasil penelitian tentang modelisasi tiang teras tersebut masih menggunakan penggabungan dari beberapa benda geometri ruang, sehingga hasilnya secara umum permukaan yang didapat masih polos.

Berdasarkan hal tersebut maka perlu dikembangkan suatu teknik untuk membuat relief pilar bangunan (pada tiang teras, masjid, hotel dan gapura), agar pilar tersebut bentuknya lebih bervariasi dan kelihatan indah.



Gambar 1 Bentuk model pilar bangunan

2. Metode Penelitian

Untuk mendapatkan model permukaan relief tiang teras digunakan tahap-tahap penelitian sebagai berikut. Pertama menetapkan data awal berupa bidang cacahan pada bidang datar ABCD dengan ukuran t_i cm x l_j cm; kedua membangun model permukaan relief pada masing-masing bidang cacahan pada bidang datar ABCD dengan langkah sebagai berikut: (1) mengkontruksi segmen-segmen dari segitiga sama kakai dari gabungan potongan bangun-bangun lingkaran, elips dan persegi panjang kemudian menggeser gabungan potongan bangun-bangun tersebut dengan kurva geser Bezier sejauh t_i ; (2) memodifikasi limas terpancung dengan memberi kelengkungan pada rusuk tegak, rusuk atas, dan memberi efek puntiran pada sisi atas. Membangun dengan cara bertingkat dari gabungan keratan bola dan limas; (3) mengkontruksi normal-normal bidang persegi panjang ABCD dengan membangun potongan-potongan bangun ruang dari normal bidang dan menghubungkan ketinggian normal bidangnya dengan potongan-potongan kurva; (4) menggabungkan beberapa model hasil di atas pada pilar.

3. Hasil dan Pembahasan

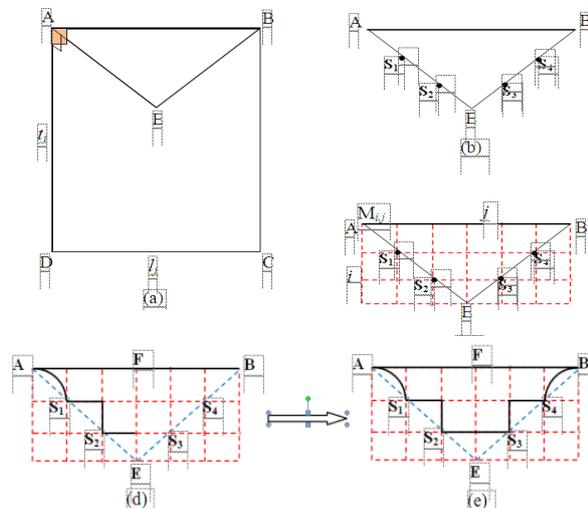
3.1 Modelisasi Relief pada Bidang Cacahan Tiang Teras

Untuk memodelisasi relief pada bidang cacahan tiang teras ditetapkan bidang datar berbentuk persegipanjang ABCD dalam koordinat Cartesius $A(x_A, y_A, z_A)$, $B(x_B, y_B, z_B)$, $C(x_C, y_C, z_C)$, dan $D(x_D, y_D, z_D)$, dengan ukuran panjang t_i cm dan lebar l_j cm dengan panjang $10 \text{ cm} \leq t_i \leq 30 \text{ cm}$ dan lebar $6 \text{ cm} \leq l_j \leq 12 \text{ cm}$. Selanjutnya dibangun beberapa model permukaan relief tiang teras dengan langkah-langkah berikut ini.

3.1.1 Profil Relief Bentuk Kurva

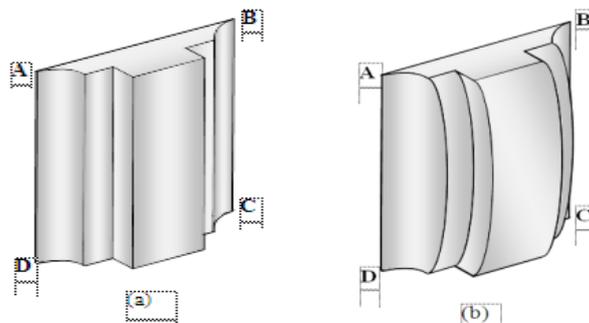
Berdasarkan dari data tersebut dilakukan konstruksi kurva untuk membangun profil relief pada salah satu sisi AB kemudian menggeser kearah sisi DC agar diperoleh beragam model relief. Langkah-langkahnya sebagai berikut:

- a. Bangun segitiga samakaki ABE dengan AE = EB, AB tegak lurus AD dan AE tegak lurus AD (Gambar 2.a).
- b. Membagi AE dan EB masing-masing menjadi 3 segmen garis yaitu AS₁, S₁S₂, S₂E, dan ES₃, S₃S₄, S₄B dengan AS₁ = S₄B, S₁S₂ = S₃S₄, S₂E = ES₃ (Gambar 2.b).
- c. Buat matriks bidang dibangun dengan menarik segmen-segmen vertikal dan horizontal melalui A, B, S₁, S₂, E, S₃, dan S₄ sehingga didapatkan titik potong M_{i,j} dengan 1 ≤ i ≤ 4 dan 1 ≤ j ≤ 7 (Gambar 2.c).
- d. Membangun profil kurva pada sisi AE antara lain sebagai berikut:
 - Membuat potongan lingkaran pada segmen M_{1,1}M_{2,2} dengan pusat M_{2,1} menggunakan persamaan $L(u) = (r \cos u + a, r \sin u + b)$ dengan a, b sebagai pusat lingkaran dan 0 ≤ u ≤ 0.5π, potongan persegi dengan titik sudut-titik sudut M_{2,2}, M_{2,3}, M_{3,2}, M_{3,3} pada segmen M_{2,2}M_{3,3} dan membuat segmen garis dari M_{3,3} ke M_{3,4} (Gambar 2.d).
 - Merefleksikan hasil di atas dalam bentuk perkalian matriks dengan sumbu EF sehingga diperoleh bangun yang simetris (Gambar 2.e)



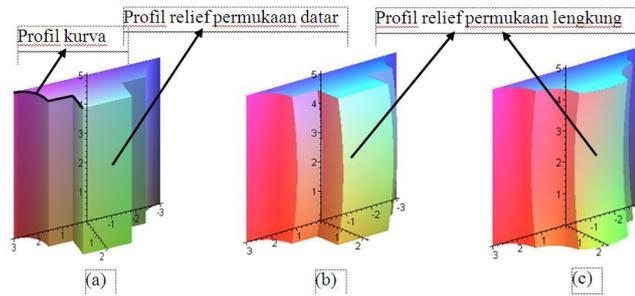
Gambar 2 Langkah-Langkah membangun profil relief bentuk kurva

- e. Menggeser profil kurva hasil perlakuan (d) ke arah \overrightarrow{AD} . Dalam hal \overrightarrow{AD} berupa segmen garis maka akan didapatkan permukaan berbentuk bidang datar (Gambar 3.a), tetapi bila \overrightarrow{AD} berbentuk kurva lengkung maka penggeseran profil kurva akan menghasilkan permukaan lengkung (Gambar 3.b).



Gambar 3 Profil relief hasil penggeseran profil kurva

Sebagai validasi hasil implementasi langkah- langkah (a) sampai dengan (e) disajikan melalui program maple 13 seperti Gambar 4 berikut.



Gambar 4 Hasil model relief pada langkah a – e dengan program Maple 13

3.1.2 Relief Modifikasi Hasil Limas Terpancung

Pembuatan relief tiang teras dengan bentuk dasar kerangka limas terpancung dengan tinggi t_l dan $3 \text{ cm} \leq t_l \leq 6 \text{ cm}$ seperti dalam gambar 5.a dapat dilakukan dengan langkah-langkah modifikasi bentuk rusuk tegak atau rusuk datar sebagai berikut.

a. Kasus Kelengkungan Rusuk Tegak atau Datar

1) Tetapkan 8 titik pada titik-titik sudut kerangka limas terpancung yaitu A, B,C,D,E,F,G, dan H.

2) Membangun dua pasang kurva Hermit pada sisi CDHG dengan cara sebagai berikut :

a) Pada bidang CDHG tetapkan titik awal D dan titik akhir H, arah vektor dari kurva Hermit \overrightarrow{DG} untuk kurva pertama dan titik awal C serta titik akhir G vektor arah \overrightarrow{CH} untuk kurva kedua.

b) Dengan formula $\mathbf{p}(u) = \mathbf{p}(0)K_1(u) + \mathbf{p}(1)K_2(u) + \mathbf{p}^u(1)K_3(u)$ untuk masing-masing kurva bangun kurva Hermit Kuadratik (Gambar 5.b). dengan

$$\begin{aligned} K_1(u) &= (1 - 2u + u^2), \\ K_2(u) &= (2u - u^2), \\ K_3(u) &= (-u + u^2), \end{aligned}$$

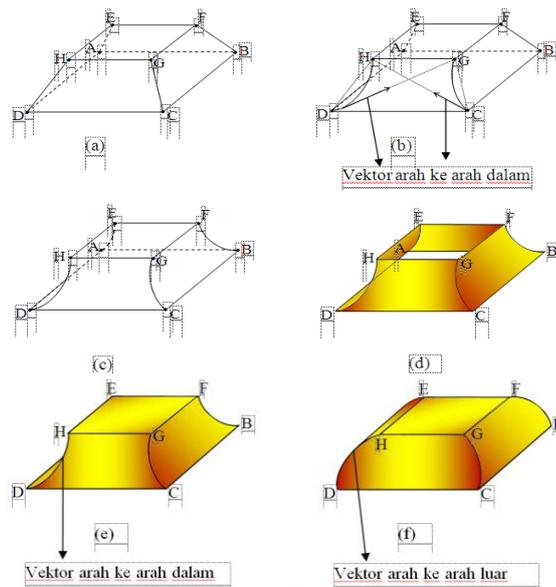
$\mathbf{p}(0)$ menyatakan data titik awal kurva dan $\mathbf{p}(1)$ merupakan titik akhir kurva dimana $0 \leq u \leq 1$. Vektor singgung di $\mathbf{p}(1)$ ditentukan oleh $\mathbf{p}^u(1)$.

3) Dengan cara yang sama pada langkah-langkah (2.a) dan (2.b) bangun kurva Hermit Kuadratik pada bidang BAEF (Gambar 5.c).

4) Interpolasikan empat pasang kurva sebidang hasil perlakuan (2) dan (3) dengan menggunakan formula $\mathbf{S}(u, v) = (1 - v)\mathbf{C}_1(u) + v\mathbf{C}_2(u)$ dengan $0 \leq u \leq 1$ dan $0 \leq v \leq 1$ seperti pada Gambar 5.d.

5) Membangun sisi alas dan atas dengan cara menginterpolasikan pasangan segmen \overline{EH} dengan \overline{FG} dan \overline{AD} dengan \overline{BC} (Gambar 5.e)

Dalam hal arah vektor pada kurva Hermit kearah dalam akan diperoleh permukaan cekung (Gambar 5.e), jika arah vektor kearah luar maka akan diperoleh model permukaan cembung (Gambar 5.f).



Gambar 5 Modifikasi limas terpancung

b. Model Puntiran

Untuk membangun relief tiang teras berbentuk puntiran pada limas terpancung dalam Gambar 5.a dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut.

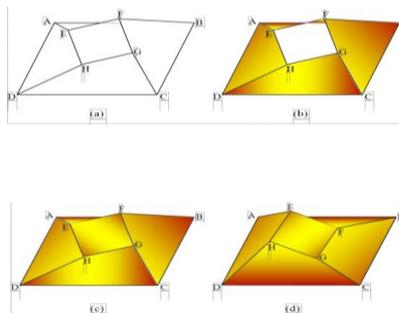
1) Tentukan titik M yang merupakan perpotongan diagonal EG dan FH dengan koordinat $M \left(\frac{x_E + x_G}{2}, \frac{y_E + y_G}{2}, \frac{z_E + z_G}{2} \right)$.

2) Rotasikan titik-titik E, F, G, dan H dengan pusat M dalam bentuk perkalian matriks $(x' \ y' \ z') = (x \ y \ z) \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ sebesar α dengan $15^\circ \leq \alpha \leq 50^\circ$ searah atau berlawanan jarum jam (Gambar 6.a).

3) Interpolasikan pasangan segmen-segmen \overline{EF} , \overline{FG} , \overline{GH} , \overline{HE} hasil perlakuan (1) dengan \overline{AB} , \overline{BC} , \overline{CD} , \overline{DA} seperti Gambar 6.b.

4) Membangun sisi alas dan atas dengan cara menginterpolasikan pasangan segmen \overline{EH} dengan \overline{FG} dan \overline{AD} dengan \overline{BC} (Gambar 6.c)

Dalam hal α bernilai positif maka efek puntiran kearah kiri (Gambar 6.c) dan jika bernilai negatif maka efek puntiran kearah kanan (Gambar 6.d)



Gambar 6 Model puntiran

c. Model Bertingkat

Tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam pembuatan relief tiang teras model bertingkat dengan bagian bawah hasil modifikasi limas terpancung hasil perlakuan a dan b dengan alternatif sebagai berikut :

- Model Bertingkat Dua Tunggal

Untuk membangun model bertingkat dua tunggal dapat dilakukan dengan cara:

1. Menetapkan tingkat pertama berbentuk modifikasi limas terpancung perlakuan hasil perlakuan a dan b.
2. Membangun tingkat kedua antara lain sebagai berikut:

- a) Model limas tunggal

- 1) Pada bidang EFGH membuat diagonal \overline{EG} dan \overline{FH} berpotongan di titik M dengan koordinat $\left(\frac{x_E + x_G}{2}, \frac{y_E + y_G}{2}, \frac{z_E + z_G}{2}\right)$.

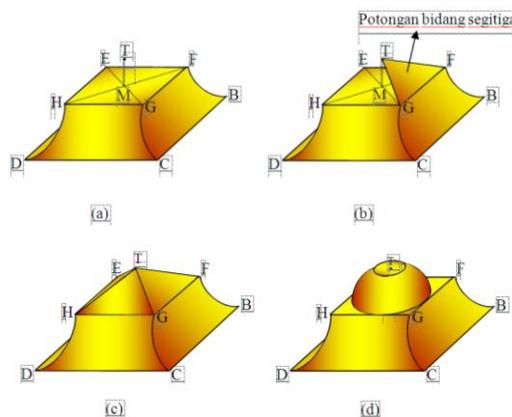
- 2) Tetapkan titik T dengan koordinat (x_M, y_M, z_T) dengan $2 \text{ cm} \leq z_T \leq 4 \text{ cm}$ (Gambar 7.a)

- 3) Interpolasikan titik T dengan segmen-segmen \overline{EF} , \overline{FG} , \overline{GH} , dan \overline{HE} dengan menggunakan formula $\mathbf{S}(u, v) = (1 - v)\mathbf{C}_1(u) + v\mathbf{C}_2(u)$ seperti Gambar 7.c dengan $0 \leq u \leq 1$ dan $0 \leq v \leq 1$

- b) Model keratan bola tunggal

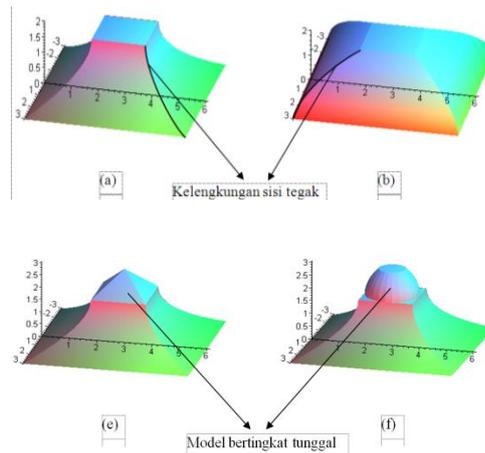
- 1) Tentukan koordinat $M \left(\frac{x_E + x_G}{2}, \frac{y_E + y_G}{2}, \frac{z_E + z_G}{2}\right)$ dan jari-jari MT yang kongruen dengan $\frac{1}{2} \overline{EF}$ bangun keratan bola dengan menggunakan formula $\mathbf{B}(u, v) = \langle r \cdot \sin(u) \cos(v) + a, r \cdot \sin(u) \sin(v) + b, r \cos(u) + c \rangle$ dengan $0 \leq u \leq 2\pi$ dan $0,7 \leq v \leq 0,6\pi$.

- 2) Bangun bidang lingkaran berpusat di T dan lingkaran batas atas hasil langkah 1) (Gambar 7.d)



Gambar 7 Model bertingkat tunggal

Sebagai validasi hasil implementasi langkah-langkah 1 sampai dengan 2 dengan Maple 13 disajikan seperti Gambar 8 berikut.



Gambar 8 Relief hasil modifikasi limas terpancung dengan program Maple 13

3.1.3 Relief Model Kombinasi Permukaan Lengkung

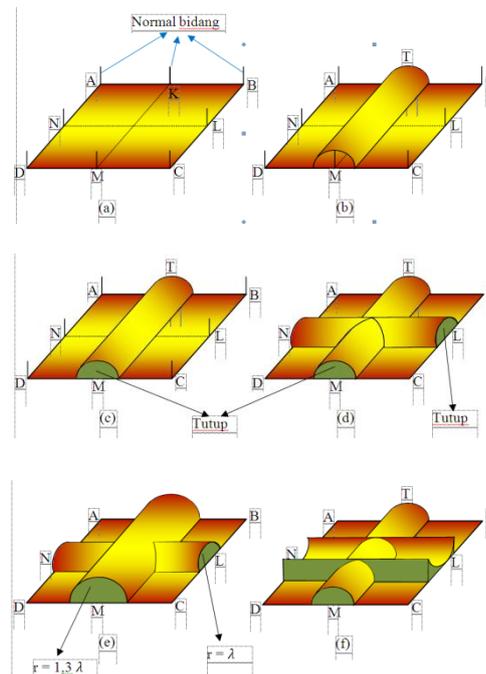
Berdasarkan data awal ditetapkan potongan bidang datar berbentuk persegi panjang ABCD dengan ukuran panjang t_i cm dan lebar l_j cm dengan $10 \text{ cm} \leq t_i \leq 30 \text{ cm}$ dan $6 \text{ cm} \leq l_j \leq 12 \text{ cm}$. Pada masing-masing titik A, B, C, D dan titik tengah segmen \overline{AB} , \overline{BC} , \overline{CD} , \overline{DA} yaitu titik K, L, M, N dengan koordinat $K \left(\frac{x_A + x_B}{2}, \frac{y_A + y_B}{2}, \frac{z_A + z_B}{2} \right)$, $L \left(\frac{x_B + x_C}{2}, \frac{y_B + y_C}{2}, \frac{z_B + z_C}{2} \right)$, $M \left(\frac{x_C + x_D}{2}, \frac{y_C + y_D}{2}, \frac{z_C + z_D}{2} \right)$, $N \left(\frac{x_D + x_A}{2}, \frac{y_D + y_A}{2}, \frac{z_D + z_A}{2} \right)$ ditetapkan normal bidang ABCD ketinggian λ dengan $3 \text{ cm} \leq \lambda \leq 6 \text{ cm}$ di titik A, B, C, D, K, L, M, dan N (Gambar 9.a). Selanjutnya dibangun beberapa model permukaan relief tiang teras dengan langkah-langkah berikut ini.

- **Model Keratan Tabung Titik Tengah**

Berdasarkan data tersebut dilakukan konstruksi keratan-keratan tabung dari posisi titik tengah sebagai berikut:

1. Bangun keratan tabung dengan pusat K dan jari-jari λ dengan menggunakan formula $T(u,v) = \langle r \cos(u), r \sin(u), v \rangle$ dimana $0 \leq u \leq \pi$ dan $0 \leq v \leq k$ dengan $k = |\overline{KM}|$ (Gambar 9.b).
2. Bangun setengah bidang lingkaran tutup tabung dengan pusat K dan jari-jari λ dimana $0 \leq u \leq 1$ dan $0 \leq v \leq \pi$ (Gambar 9.c)
3. Dengan cara yang sama pada langkah-langkah (1) dan (2) bangun keratan tabung berpusat disumbu \overline{NL} dan setengah bidang lingkaran tutup tabung (Gambar 9.d).

Dengan menggunakan langkah-langkah di atas dapat dibuat variasi antara lain jika λ dipilih berbeda maka akan diperoleh Gambar 9.e dan jika keratan tabung menghadapnya berlawanan maka diperoleh model seperti Gambar 9.f.



Gambar 9 Model keratan tabung titik tengah

• Model Lengkungan Elips

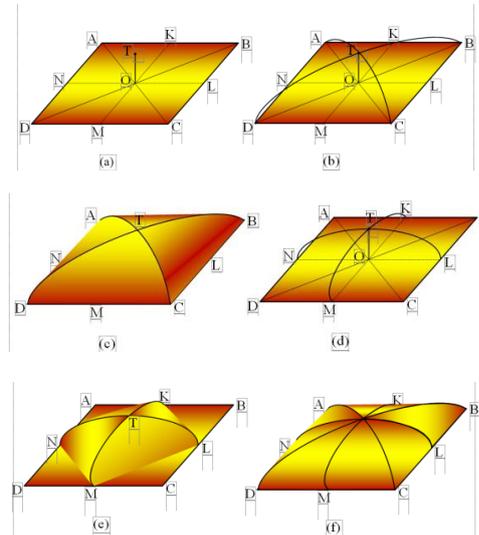
Berdasarkan data awal di atas akan dibangun beberapa model permukaan relief tiang teras berdasarkan potongan elips, langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Pada bidang ABCD membuat diagonal \overline{AC} dan \overline{BD} berpotongan dititik O dengan koordinat $O \left(\frac{x_A + x_C}{2}, \frac{y_A + y_C}{2}, \frac{z_A + z_C}{2} \right)$.
2. Tetapkan titik T dengan koordinat (x_O, y_O, z_T) dengan $2 \text{ cm} \leq z_T \leq 4 \text{ cm}$ (Gambar 10.a)
3. Bangun potongan elips dengan pusat O, sumbu mayor \overline{AC} dan sumbu minor $2 \cdot \overline{OT}$ menggunakan formula $\mathbf{E}(\theta) = \langle r_1 \cos(u) + a, r_2 \sin(u) + b \rangle$ dimana $0 \leq u \leq \pi$.
4. Dengan cara yang sama bangun potongan elips pada segmen \overline{BD} (Gambar 10.b).
5. Interpolasikan potongan-potongan elips pada segmen \overline{AC} dan \overline{BD} diperoleh hasil Gambar 10.c.
6. Berdasarkan data pada langkah (1) dan (2) bangun potongan elips pada segmen \overline{KM} dengan pusat O dan sumbu mayor \overline{KM} serta sumbu minor $2 \cdot \overline{OT}$ menggunakan formula $\mathbf{E}(\theta) = \langle r_1 \cos(u) + a, r_2 \sin(u) + b \rangle$ dimana $0 \leq u \leq \pi$.
7. Rotasikan potongan elips hasil perlakuan langkah (6) menggunakan formula

$$(x' \ y' \ z') = (x \ y \ z) \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \text{ dengan pusat O dan } \theta \text{ searah jarum jam sebesar } 0.5 \pi \text{ (Gambar 10.d)}$$

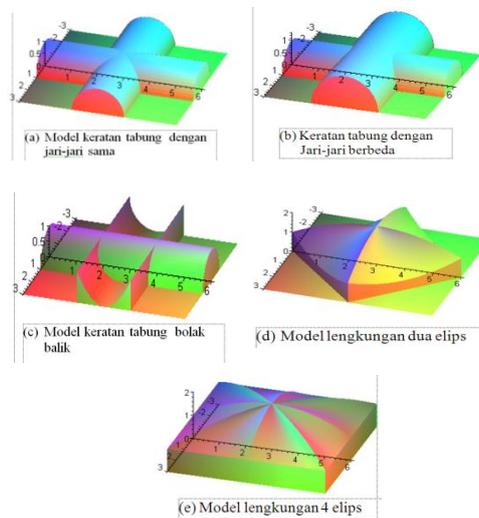
8. Interpolasikan kedua potongan elips hasil perlakuan (6) dan (7) contoh hasil Gambar 10.e.

Dengan menggabungkan langkah-langkah (3), (4), (6), dan (7) serta menginterpolasikan potongan elips yang berdekatan maka akan diperoleh model relief seperti Gambar 10.f.



Gambar 10 Model relief tiang teras permukaan lengkung

Sebagai validasi hasil implementasi langkah-langkah diatas disajikan dengan Maple 13 seperti Gambar 11 berikut.

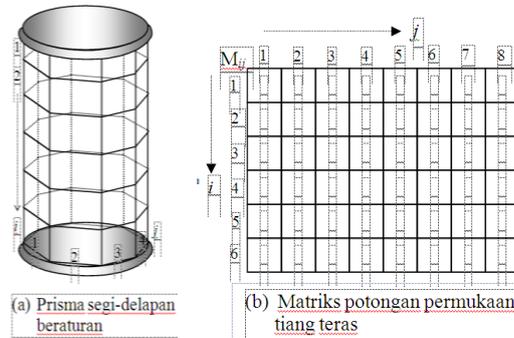


Gambar 11 Model kombinasi permukaan lengkung dengan program Maple 13

3.2 Pengisian Matriks Permukaan Tiang Teras dengan Relief Bidang Cacahan

Untuk melakukan pengisian model relief bidang cacahan ditetapkan tiang teras berbentuk prisma tegak segi-n beraturan ($4 \leq n \leq 10$) contoh pada Gambar 12.a (prisma segidelapan beraturan). Ketinggian prisma dicacah secara horizontal

menjadi $4 \leq i \leq 10$ potongan masing-masing panjangnya $10 \text{ cm} \leq t_i \leq 30 \text{ cm}$. Keliling prisma dicacah sebanyak $6 \leq j \leq 12$ dengan lebar masing-masing $6 \text{ cm} < l_j < 12 \text{ cm}$, sehingga diperoleh matriks potongan permukaan tiang teras M_{ij} sebanyak $i \times j$ potongan dengan panjang dan lebar masing-masing potongan adalah $t_i \text{ cm}$ dan $l_j \text{ cm}$ (Gambar 12.b). Selanjutnya diisikan beberapa model relief bidang cacahan tiang teras hasil pembahasan dibagian A kedalam matriks potongan permukaan tiang teras dengan langkah-langkah sebagai berikut.



Gambar 12 Tiang teras berbentuk segi delapan beraturan serta matriks potongan permukaan tiang teras

Berdasarkan data Gambar 12.b tersebut dilakukan pengisian model relief bidang cacahan tiang teras pada matriks M_{ij} secara simetris. Langkah-langkahnya sebagai berikut :

1. Tetapkan i dan j adalah genap dengan $i = 1 \dots m$ dan $j = 1 \dots n$
2. Menetapkan salah satu model untuk kesimetrian antara lain sebagai berikut:

a. Simetris Satu Sumbu

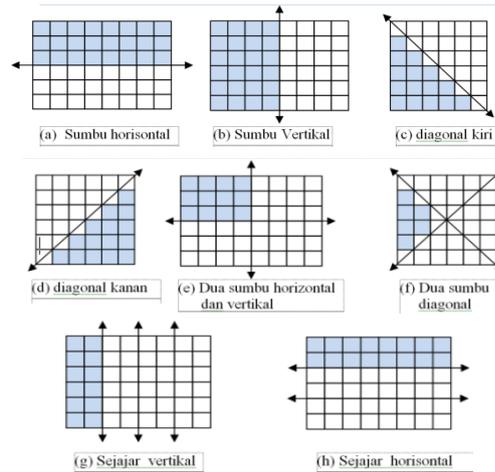
Untuk menetapkan satu sumbu simetris pada matriks M_{ij} dapat dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Tetapkan matriks $M_{i,j}$ dengan $i = 1 \dots \frac{1}{2}m$, $j = 1 \dots n$ diperoleh sumbu simetris satu sumbu horizontal (Gambar 13.a) atau $i = 1 \dots m$, $j = 1 \dots \frac{1}{2}n$ diperoleh sumbu simetris satu sumbu vertikal (Gambar 13.b);
- 2) Tetapkan matriks $M_{i,j}$ dengan $i \geq j$ dimana $i = 1 \dots m$, $j = 1 \dots n$ dan $m = n$ diperoleh sumbu simetri satu sumbu diagonal kiri (Gambar 13.c) atau $i + j > m$ dimana $i = 1 \dots m$, $j = 1 \dots n$ dan $m = n$ diperoleh sumbu simetris satu sumbu diagonal kanan (Gambar 13.d).

b. Simetris Dua Sumbu

Untuk menetapkan sumbu simetris dua sumbu pada matriks M_{ij} dapat dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Tetapkan matriks $M_{i,j}$ hasil perlakuan a.1) sebagai sumbu sehingga diperoleh sumbu simetris dua sumbu vertikal dan horisontal (Gambar 13.e);
- 2) Tetapkan matriks $M_{i,j}$ hasil perlakuan a.2) baik diagonal kiri dan diagonal kanan sebagai sumbu sehingga diperoleh sumbu simetris dua sumbu diagonal (Gambar 13.f).

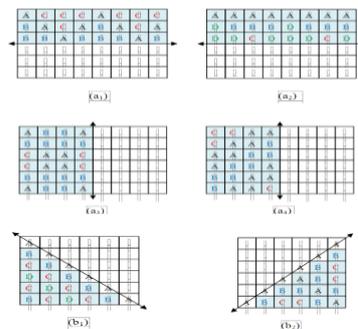


Gambar 13 Matriks model simetris

3. Isikan relief bidang cacahan tiang teras pada bagian A dalam matriks hasil langkah (2) dengan cara sebagai berikut:
 - a. Tetapkan beberapa model relief bidang cacahan hasil perlakuan diatas misalnya model A, B, C, dan D.
 - b. Isikan model A, B, C, dan D pada matriks hasil langkah (2) dalam Gambar 13 dengan variasi antara lain:

1) Simetris Satu Sumbu

- Sumbu horizontal dan vertikal
 - Isikan model A pada matriks potongan permukaan tiang teras $M_{1,1}$, $M_{2,2}$, $M_{3,3}$, $M_{2,4}$, $M_{1,5}$, $M_{2,6}$, $M_{3,7}$, $M_{2,8}$, model B pada $M_{2,1}$, $M_{3,1}$, $M_{3,2}$, $M_{3,4}$, $M_{2,5}$, $M_{3,5}$, $M_{3,6}$, $M_{3,8}$, dan model C pada $M_{1,2}$, $M_{1,3}$, $M_{1,4}$, $M_{2,3}$, $M_{1,6}$, $M_{1,7}$, $M_{1,8}$, $M_{2,7}$ (Gambar 14a₁)
 - Dengan cara yang sama diperoleh variasi isian antara lain seperti pada Gambar 14.a₂ untuk sumbu horizontal dan Gambar 14.a₃ , dan 14.a₄ untuk sumbu vertikal.
- Sumbu diagonal
 - Isikan model A sepanjang sumbu diagonal, kemudian isikan model B pada $M_{2,1}$, $M_{3,2}$, $M_{4,3}$, $M_{5,4}$, $M_{6,5}$, $M_{6,1}$, model C pada $M_{3,1}$, $M_{4,2}$, $M_{5,1}$, $M_{5,3}$, $M_{6,2}$, $M_{6,4}$, dan model D pada $M_{4,1}$, $M_{5,2}$, $M_{6,3}$ (Gambar 14.b₁).
 - Dengan cara yang sama diperoleh variasi isian antara lain seperti pada Gambar 14.b₂ untuk sumbu diagonal kanan.



Gambar 14 Pengisian simetri satu sumbu

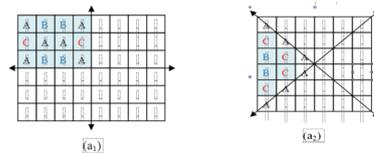
2) Simetris Dua Sumbu

- Sumbu horizontal dan vertikal

Isikan model A pada matriks potongan permukaan tiang teras $M_{1,1}$, $M_{1,4}$, $M_{2,2}$, $M_{2,3}$, $M_{4,1}$, $M_{4,4}$, model B pada $M_{1,2}$, $M_{1,3}$, $M_{3,2}$, $M_{3,3}$, dan model C pada $M_{2,1}$, $M_{2,4}$ (Gambar 15.a₁)

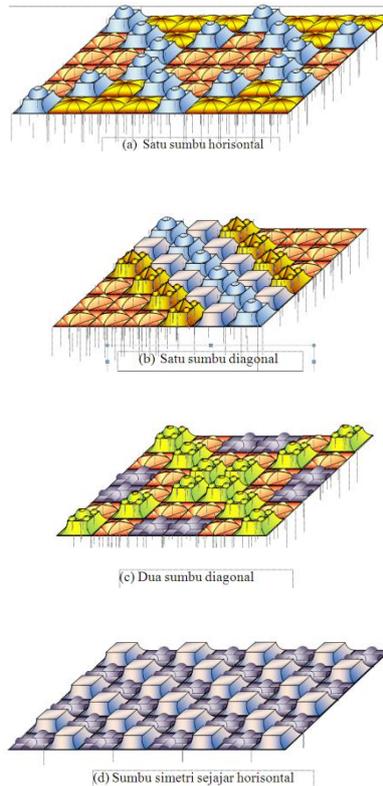
- Sumbu diagonal

Isikan model A sepanjang sumbu diagonal kiri dan kanan, kemudian isikan model B pada $M_{1,3}$, $M_{1,4}$, model C pada $M_{2,1}$, $M_{3,2}$, $M_{4,2}$, $M_{5,1}$ (Gambar 15.a₂).



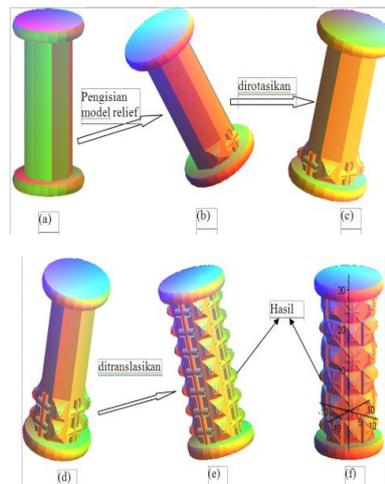
Gambar 15 Pengisian simetri dua sumbu

4. Refleksikan hasil perlakuan langkah 3 terhadap sumbu simetri untuk memenuhi matriks $M_{i,j}$ yang kosong sehingga diperoleh hasil antara lain pada Gambar 16 sebagai berikut:



Gambar 16 Hasil pengisian matriks permukaan tiang teras dengan relief bidang cacahan

Sebagai validasi hasil implementasi langkah-langkah 1 sampai dengan 4 dalam pengisian matriks $M_{i,j}$ diperoleh relief permukaan tiang teras seperti Gambar 4.19 berikut.

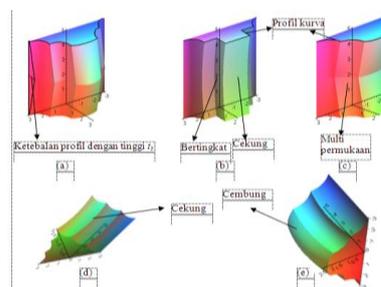


Gambar 17 Hasil pengisian model relief bidang cacahan pada tiang teras

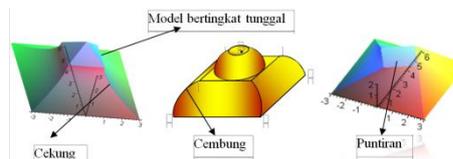
3.3 Pembahasan

Pada bagian ini dibahas mengenai evaluasi teknik membangun model relief permukaan tiang teras dan pengisian matriks permukaan tiang teras $M_{i,j}$. Uraian detailnya dijelaskan sebagai berikut.

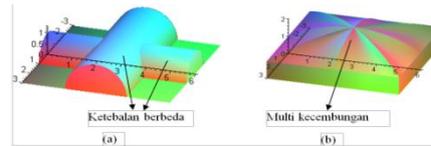
1. Kontruksi profil kurva dapat menghasilkan model relief bidang cacahan bentuknya bervariasi antara lain ketebalan relief berbeda, bertingkat, permukaan dapat cembung atau cekung, dan multi permukaan.



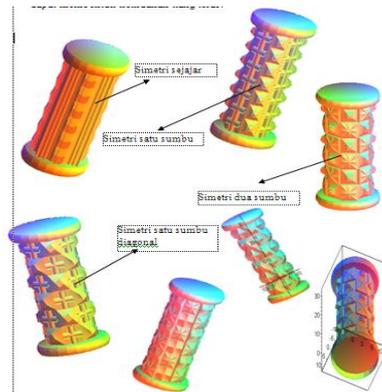
2. Kontruksi model relief berbasis limas terpancung dapat menghasilkan permukaan multi bentuk (cekung, cembung, model puntiran) dan bertingkat dengan tingkat pertama berupa modifikasi limas terpancung dan tingkat kedua dapat diisi satu, empat, lima bangun limas atau keratan bola. Isian tingkat kedua bisa diisi homogen atau selang seling sehingga diperoleh model yang bervariasi.



3. Konstruksi relief model permukaan lengkung dapat diperoleh ketebalan berbeda dan multi kecembungan. Jika nilai λ diberikan berbeda maka kontruksi keratan tabung akan menghasilkan ketebalan yang berbeda. Jika empat potongan elips dengan pusat yang sama diinterpolasikan maka akan diperoleh bentuk multi kecembungan.



4. Pengisian matriks permukaan tiang teras $M_{i,j}$ menghasilkan beragam model kesimetrian (simetri satu sumbu, simetri dua sumbu, dan simetri sejajar) yang dapat membentuk keindahan tiang teras.



4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa: (1) untuk mendapatkan model permukaan relief pada bidang cacahan dapat dilakukan, pertama mengkontruksi profil relief bentuk kurva, kemudian dilakukan penggeseran, kedua memodifikasi bentuk rusuk tegak dan rusuk atas limas terpancung, dan ketiga mengkontruksi keratan-keratan tabung yang berpusat pada pasangan titik tengah sisi-sisi bidang cacahan; (2) untuk mengisikan hasil (1) kedalam matriks permukaan tiang teras $M_{i,j}$ dapat dilakukan dengan membangun matriks simetris satu sumbu, simetris dua sumbu, atau simetris sejajar, kemudian mengisikan beberapa model hasil (1) kesalah satu bagian matriks disalah satu sisi sumbu, terakhir merefleksikan atau mentranslasikan bagian matriks tersebut untuk mengisi matriks yang kosong.

Daftar Pustaka

- [1] Kusno. 2002. *Geometri Rancang Bangun Studi Aljabar Vektor Garis, Lingkaran dan Ellips*. Jember : Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Jember
- [2] Kusno. 2010. *Geometri Rancang Bangun Studi Tentang Desain dan Pemodelan Benda dengan Kurva dan Permukaan Berbantu Komputer*. Jember : Jember University Press
- [3] Murad Babaarsland and Yusuf Yayli. 2013. *Split Quaternions and Spacelike Constant Slope Surfaces in Minkowski 3-Space*. International Journal of Geometry Vol 2 No. 2, 23 – 33
- [4] Purcell, E.J. dan Valberg, D. 1987, *Kalkulus dan Geometri Analitik Edisi 5 Jilid 1*. USA : Prentice Hill International, Inc.