BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Model dalam aplikasi teknik selalu terdiri dari geometri,topologi dan informasi tambahan. Geometri termasuk didalamnya titik, garis, lingkaran, planes, silinder, dan surface, hal ini mendefenisikan karakteristik bentuk dasar. Topologi mewakili hubungan dari geometri dan obyek CAD merupakan alat yang digunakan untuk memperlihatkan model–model teknik, juga digunakan untuk merubah model yang sudah ada. Untuk melakukan ini diperlukan transformasi tampilan.

Proses perancangan berbagai produk saat ini dilakukanmenggunakan komputer. Industri dirgantara misalnya sebelum mengeluarkan model pesawat terbang terbaru para desainer terlebih dahulu merancang bentuk pesawat terbang tersebut dengan bantuan komputer. Dari rancangan ini, para ahli teknik dapat melakukan perhitungan–perhitungan teknik yang diperlukan seperti perhitungan kekuatan struktur atau perhitungan mekanika fluida. Bantuan komputer tadi dikenal dengan istilah *Computer Aided Design (CAD).* Dalam merancang bentukgeometri suatu produk (seperti funiture, peralatan rumah tangga, mobil, pesawat, kapal dan lain-lain) menggunakan komputer, para desainer memerlukan permodelan matematika untuk menghasilkan kurva atau permukaan yang halus. Kurva atau permukaan ini harus dapat diatur secara bebas dan fleksibel. Selain itu, kriteria yang penting bagi desainer adalah apabila mereka melakukan modifikasi pada suatu daerah kurva atau permukaan, idealnya adalah yang terpengaruh hanya sebatas daerah di sekitar lokasi dimana modifikasi dilakukan. Dengan demikian rancangan yang telah sempurna tidak akan terpengaruh apabila mereka melakukan modifikasi pada daerah lain.

Salah satu kurva dan permukaan matematis yang paling banyak digunakan dalam aplikasi *CAD* adalah *Non-Uniform Rational B-Splines (NURBS).* Kurva dan permukaan parametrik NURBS memenuhi hampir semua kriteria perancangan sehingga menjadi objek dasar yang paling populer di *CAGD*, selain karena kestabilan dan keefisienan perhitungan numeriknya. Kurva parametrik merupakan kurva dua dimensi yang dihasilkan dari himpunan kurva yang berasal dari suatu fungsi parametrik. Beberapa jenis kurva dapat digunakan untuk menghasilkan permukaan parametrik, seperti *B-Splines*, *Hermite*, *NURBS* dan*splines.*

Kelemahan pada *NURBS* dibagi menjadi tiga bagian :

a) ketika merancang sebuah produk dengan menggunakan sistem *CAD* sering kali bentuk geometri dari produk tersebut tidak dapat dimodelkan hanya dengan menggunakan satu permukaan *NURBS*.

b) Karena titik kontrol dipermukaan *NURBS* harus secara topologi terletak dalam persegi panjang, akibatnya komputer dan desainer harus bekerja dengan lebih banyak data. Sebagian besar dari data ini tidak memiliki informasi geometrik.

c) *NURBS* model secara matematis tidak kedap air *(watertight*). Hal ini menyebabkan model geometrik yang dibuat menggunakan *NURBS* tidak dapat digunakan untuk analisis secara langsung.

Untuk mengatasi kelemahan yang dimiliki *NURBS* maka dikembangkanlah *T-Splines surface* oleh Sederberg dan kawan-kawan (Sederberg dkk, 2003). Penggunaan *T-splines* sebagai alternatif *NURBS* untuk pemodelan geometrik *CAD* diharapkan dapat menghasilkan model geometrik yang lebih baik dan dapat langsung digunakan dalam proses analisis. *T-splines* dapat memberikan solusi yang jauh lebih efisien dibandingkan representasi *NURBS* dari sebuah permukaan.

Pada penelitian ini penulis mencoba menerapkan permukaan *T-splines* untuk pemodelan *CAD*. Permukaaan ini memiliki keistimewaan, yaitu kurva yang dihasilkan selalu melalui titik kontrol dari kurva. Berdasarkan karakteristik kurva ini pengguna dapat menentukan bentuk dari kurva yang dihasilkan dengan menentukan nilai titik kontrol kurva tersebut. Dengan demikian kurva parametrik yang dihasilkan dari kurva ini juga akan memiliki karakteristik. Dengan karakteristik ini, kurva parametrik akan lebih mudah untuk diinterpretasikan ke dalam suatu perangkat lunak. Dalam hal ini peranan dari bidang ilmu Grafika Komputer akan sangat dibutuhkan.Desain pemodelan grafik sangat berkaitan dengan grafik komputer.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas penulis mememutuskan untuk menerapkan *T-Spline* untuk pemodelan *CAD* karena *T-splines* memiliki beberapa keunggulan yang tidak dimiliki oleh *NURBS*.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari agar pembahasan tidak menyimpang dari rumusan masalah maka penulis membatasi penelitian ini. pada penerapan *T-Splines* untuk pemodelan *CAD*.dan membandingkan kualitas model yang dihasilkan menggunakan *T-splines* dengan model yang dihasilkan dengan menggunakan *NURBS.*

1.4.Tujuan Dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan

Mempelajari kelebihan–kelebihan yang dimiliki *T-Splines* untuk pemodelan *CAD* dari produk–produk yang miliki bentuk yang rumit.

1.4.2 Manfaat

Manfaat penelitian adalah penerapan teknologi baru yang dapat menyederhanakan proses pemodelan geometri dari suatu produk.

1.5 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *exploratory study*. Metode penelitian *exploratory study* dilakukan apabila penelitian sebelumnya masih jarang tujuannya adalah untuk melihat pola, gagasan atau merumuskan hipotesis.

1.5.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian penerapan *T-splines* untuk pemodelan CAD ini dilaksanakan pada oktober 2012 sampai agustus 2013 bertempat di Universitas Bina Darma.

1.5.2 Bahan dan Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan media komputer. Pemrograman dilakukan mengggunakan bahasa pemrograman Python dengan bantuan perangkat lunak *paraview* untuk *visualisasi*

1.5.3 Metode Pengumpulan Data

Data primer untuk penelitian ini adalah model geometri dari beberapa produk rumah tangga yang dibuat menggunakan *NURBS* dan *T-splines.* Untuk data sekunder penulis melakukan kajian pustaka dari beberapa artikel jurnal dan buku – buku yang berkaitan dengan pemodelan *CAD* atau grafika komputer.

BAB II

KURVA GEOMETRI

2.1 Kurva

Dalam matematika sebuah kurva adalah suatu objek geometri yang merupakan satu dimensi dan kontinyu.banyak kurva khusus telah dipelajari dalam geometri.geometri sering dikenal dengan istilah kurva (curve) dan permukaan (surface).kurva merupakan suatu titik yang dibentuk dengan garis sehingga membentuk suatu lengkungan.

Jenis-jenis kurva antara lain :

1. Kurva linier yaitu kurva yang dibentuk dari suatu garis antara 2 buah titik yang saling berhubungan.
2. Kurva kubik yaitu kurva yang memiliki persamaan ax3+bx2+cx+d di mana a,b,c,d adalah konstanta
3. Kurva Bezier yaitu kurva yang proses pembentukannya dari kurva linier,kurva kubik,kuadarat,

Permukaan (surface) merupakan struktur matematis yang terbentuk atas himpunan kurva.

2.2 Kurva Bezier

Kurva bezier adalah sebuah fungsi yang didefenisikan diatas parameter tunggal yang menyisipkan urutan titik-titik,ketika parameternya berubah,jalur garis terbentuk dari titik pertama menuju titik terakhir,bergerak sepanjang kurva yang dipengaruhi oleh titik kontrol. Persamaan bentuk kurva tersebut adalah sebagai berikut:

$$f(t) \sum_{i=0}^{m} B_i m(t) b_i \qquad (1)$$

Dimana b_i adalah titik kontrol dan $b_i m(t)$adalah fungsi polinomial Bernstein.parameter t adalah variasi dari 0 menuju 1 dan f(t) yang membentuk kurva. Kurva B'ezier memiliki beberapa kunci properti (hasil dari fungsi polinomial Bernstein) yang sangat penting untuk kurva dan permukaan tiga dimensi.

1. Kurva menyisipkan titik kontrol yang pertama dan terakhir.
2. Seluruh kurva berada di convex hull dari titik kontrol
3. Berada didalam transformasi yang baik
4. Kurva tersebut adalah fungsi tangent untuk mengontrol poligon pada ujung titik.

Secara matematis sebuah kurva parametrik didefenisikan sebagai :

$$\mathrm{p}(t) = \sum_{i=0}^{n} B_i J_{n,i}(t) t_{min} \ \leq 0 \leq \mathrm{t} \leq 1 \qquad (1)$$

dimana basis Bezier atau Bernstein atau fungsi pencampur (*blending*)

$$J_{n,i}(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i} \qquad (2)$$

Dengan

$$\binom{\mathrm{n}}{\mathrm{i}} = \frac{\mathrm{n}!}{\mathrm{i}!\,(\mathrm{n}-\mathrm{i})!} \qquad (3)$$

$J_{n,i}$(t) adalah fungsi basis Bernstein orde *n* ke *i*. Disini *n* derajat dari fungsi basis *Bernstein* penentu dan karenanya untuk segmen kurva polinomial sama dengan jumlah simpul penentu dikurang satu. Simpul dari poligon Bezier diberi nomor mulai dari 0 sampai n.disamping itu digunakan juga asumsi $(0)^0 \equiv 1$and $0! \equiv 1$.

Gambar memperlihatkan fungsi-fungsi *blending* untuk beberapa nilai *n*. Perhatikan kesimetrian dari fungsi-fungsi tersebut. Setiap fungsi *blending* berderajat *n*. Sebagai contoh, setiap fungsi dari empat fungsi *blending* yang diperlihatkan pada gambar untuk *n* =3 merupakan fungsi kubik. Nilai maksimum dari setiap fungsi *blending* terjadi pada t = *i/n* dan oleh

$$J_{n,i}\left(\frac{i}{n}\right) = \binom{n}{i} = \frac{i^i (n-i)^{n-i}}{n^n} \tag{4}$$

Memperhatikan persamaan (1) sampai (2) untuk titik pertama pada kurva,yaitu pada t = 0, memperlihatkan bahwa.

$$J_{n,0}(0) = \frac{n!\,(1)(1-0)^{n-0}}{n!} = 1 \qquad i = 0 \tag{5}$$

Dan $$J_{n,i}(0) = \frac{n!(0)^i(1-0)^{n-i}}{i!(n-i)!} = 0 \qquad i \neq 0 \tag{6}$$

Karenanya, P(0) = $B_0 J_{n,0}(0) = B_0$

Dan titik pertama pada kurva Bezier dan titik pertama pada poligon penentu memiliki posisi yang sama.

Sama halnya dengan titik pertama, titik terakhir pada kurva, yaitu pada t = 1,

$$J_{n,n}(1) = \frac{n!\,(1)^n (0)^{n-n}}{n!\,(1)} = 1 \qquad i = n \tag{7}$$

$$J_{n,i}(1) = \frac{n!}{i!\,(n-i)!} t^i (1-1)^{n-i} = 0 \quad i \neq n \tag{8}$$

Karenanya, P(1) = $B_n J_{n,n}(1) = B_n$

Dan titik terakhir pada kurva Bezier dan titik terakhir dari poligon penentu kurva tersebut berhimpit. Fungsi-fungsi *blending* yang diperlihatkan pada gambar memperlihatkan hasil ini.

Lebih lanjut, kita dapat memperlihatkan bahwa untuk sebarang nilai parameter t, jumlah dari fungsi-fungsi basis sama dengan satu.

Contoh, jika$B_0 = [1 \;\; 1]$, $B_1 = [2 \;\; 3]$, $B_2 = [4 \;\; 3]$ dan $B_3 = [3 \;\; 1]$ merupakan simpul-simpul dari poligon Bezier, tentukan tujuh titik pada kurva Bezier.

$$\sum_{i=0}^{n} B_i J_{n,i}(t)$$

Dimana

$$J_{n,i}(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i}$$

Dan

$$\binom{n}{i} = \frac{n!}{i!\,(n-i)!}$$

Disini n = 3 karena terdapat empat simpul poligon penentu

$$\binom{n}{i} = \binom{3}{i} = \frac{6}{i!\,(3-i)!}$$

Dan

$$J_{3,0}(t) = (1)t^0(1-t)^3 = (1-t)^3$$

$$J_{3,1}(t) = 3t(1-t)^2$$

$$J_{3,2}(t) = 3t^2(1-t)$$

$$J_{3,3}(t) = t^3$$

Karenanya

$$P(t) = B_0 J_{3,0} + B_1 J_{3,1} + B_2 J_{3,2} + B_3 J_{3,3}$$

$$= (1-t)^3 B_0 + 3t(1-t)^2 B_1 + 3t^2(1-t) B_2 + t^3 B_3$$

2.3 *Computer Aided Desain (CAD)*

Computer Aided Desain(CAD) adalah suatu program komputer untuk merancang suatu produk atau bagian dari suatu produk. Produk yang ingin digambarkan bisa diwakili oleh garis-garis maupun simbol-simbol yang memiliki makna tertentu.*CAD* bisa berupa gambar 2 dimensi dan gambar 3 dimensi.

Berawal dari mengganti fungsi meja gambar kini perangkat lunak *CAD* telah berevolusi dan terintegrasi dengan perangkat lunak *CAE (Computer AidedEngineering)* dan *CAM (Computer Aided Manufacturing)* integrasi itu dimungkinkan karena perangkat lunak *CAD* saat ini kebanyakkan merupakan aplikasi gambar 3 dimensi atau biasa disebut solid modeling,solid model memungkinkan kita untuk memvisualisasikan komponen dan rakitan yang kita buat secara realistik.selain itu model mempunyai properti seperti masa,volume dan pusat gravitasi,luas permukaan,(Ivan Sutherland,2010)

2.4 Pemodelan Geometri

Pemodelan geometri adalah transformasi dari suatu konsep atau suatu bendanya ke suatu model geometris yang bisa ditampilkan pada suatu komputer dan terdiri dari: shape atau bentuk posisi,orientasi ciri-ciri permukaan (warna,tekstur),ciri-ciri volumetrik (ketebalan atau pejal atau penyebaran cahaya),*light* atau cahaya (tingkat terang,jenis warna).pemodelan geometri dapat diartikan juga menciptakan model matematika dari objek-objek 2D dan 3D.(Nalman,1998)

2.5 Kurva *B-Splines*

B-splines atau *Basis Splines* adalah kurva atau permukaan parametrik yang dikembangkan untuk mengatasi kelemahan dari kurva atau permukaan Bézier. Terutama berkaitan dengan perilaku global dari *control point* pada kurva atau permukaan Bézier. Berbeda dengan Bézier, fungsi basis *B-Splines* dapat bernilai nol di luar range tertentu (Sederberg, 2005)

2.6 Vektor *Knot*

Vektor knot adalah sebuah vektor yang berisi nilai-nilai parameteryang menentukan interval parameter untuk setiap kurva Bézier yang membentuk sebuah *B-spline* (Sederberg,2005). Sebagai contoh, jika sebuah *B-spline* kubikterdiri dari empat kurva Bézier dengan interval parameter [1,2], [2,4], [4,5], dan [5,8], simpul vector akan

$$[\, t_{0,} t_{1,} 1_, 2_, 4_, 5_, 8_, t_{7,} t_8]$$

Perhatikan bahwa ada dua *knot* tambahan (derajat dari kurva dikurang satu) kondisi titik ujung dari kurva *B-spline*.

2.7.1 *Vektor Knot Uniform*

Pada sebuah *vektor knot uniform*setiap nilai-nilai dari setiap *knot* memiliki jarak yang sama seperti:

$$[0\ 1\ 2\ 3\ 4] \tag{1}$$

atau

$$[-0.2\ -0.1\ 0\ 0.1\ 0.2] \tag{2}$$

dalam prateknya, *vektor-vektor knot uniform*umumnya dimulai dengan nol dan ditngkatkan sebesar 1 sampai nilai maksimum tertentu atau dinormalisasi dengan range antara 0 dan 1, dengan interval desimal yang sama, yaitu

$$[0\ 0.25\ 0.5\ 0.75\ 1.0] \tag{3}$$

Untuk sebarang orde *k, vektor-vektor knot uniform*menghasilkan fungsi-fungsi basis uniform yang periodik dimana

$$N_{i,k}(t) = N_{i-1,k}(t-1) = N_{i+1,k}(t+1) \tag{4}$$

Jadi setiap fungsi basis adalah translasi dari fungsi basis yang lainnya,(D.F Roger dan JA.Adams,)

2.7.2 *Vektor Knot Uniform* Terbuka

Sebuah *vektor knot uniform*terbuka memiliki nilai *knot* yang berulang di awal dan akhir.jumlah nilai *knot* yang berulang pada setiap sisi sama dengan orde *k* dari fungsi basis *B-Spline*. Sedangkan nilai *knot* interval memiliki jarak yang sama seperti pada contoh berikut:

k = 2 [0 0 1 2 3 4 4] (5)

k = 3 [0 0 0 1 2 3 3 3]

k = 4 [0 0 0 0 1 2 2 2 2]

atau dalam bentuk ternormalisasi.

k = 2 [0 0 ¼ ½ ¾ 4 1 1] (6)

k = 3 [0 0 0 1/3 2/3 1 1 1]

k = 4 [0 0 0 0 ½ 1 1 1 1]

secara umum, sebuah *vektor knot uniform*terbuka didefinisikan dengan

$$x_i = 0 \qquad 1 \leq i \leq k \tag{7}$$

$$x_i = i - k \qquad k + 1 \leq i \leq n + 1$$

$$x_i = n - k + 2 \quad n + 2 \leq i \leq n + k + 1$$

Basis fungsi *uniform* terbuka yang dihasilkan akan memproduksi kurva yang bersifat sangat mirip dengan kurva Bezier. Bahkan jika jumlah simpul poligon kontrol sama dengan orde dari basis *B-spline* dan digunakan *vektor knot uniform*terbuka, maka basis *B-spline* akan sama dengan basis Bernstein. Oleh karena itu kurva *B-spline* yang di hasilkan adalah kurva Bezier. Dalam kasus seperti itu *vektor knot* hanya terdiri dari nilai nol sebanyak *k* diikuti dengan nilai satu sebanyak *k*. Sebagai contoh, untuk poligon bersimpul empat *vektor knot uniform* terbuka orde keempat (*k = 4)* adalah

$$[0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1] \quad (8)$$

Penggunaan vektor *knot* tersebut akan menghasilkan sebuah kurva Bezier/*B-spline* kubik.(D.F Roger dan JA.Adams,1950)

2.7.3 *Vektor Knot Nonuniform*

Vektor-vektor knot nonuniform bisa memiliki *knot* yang memiliki nilai dengan jarak yang tidak sama atau *knot*interval yang memiliki nilai yang berulang. *Vektor knot nonuniform* bisa periodik atau terbuka seperti pada contoh berikut:

$$[0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 2\ 2\ 2] \quad (9)$$

$$[0\ 1\ 2\ 2\ 3\ 4] \quad (10)$$

$$[0\ 0.28\ 0.5\ 0.75\ 1] \quad (11)$$

Menyimpul *vektor* harus *non*-penurunan urutan bilangan *real*.Jika ada simpul nilai diulang, itu disebut sebagai simpul ganda. Lagi didalam pasal 6. Kurva*B-spline*yang simpul *vektor* adalah merata spasi dikenal sebagai seragam *B-spline*.jika simpul vector tidak merata spasi, kurva disebut *non*-seragam *B-spline.*

2.8*NURBS*

Permukaan*Non–Uniform Rational B-splines (NURBS)* adalah permodelan permukaan secara parametrik yang umumnya digunakan dalam grafik komputer,*NURBS* bersifat lebih universal dari *Bézier Splines* atau *B-splines* karena selain bisa memodelkan juga geometrik analitik seperti lingkaran, ellips,hiperbola dan lain – lain. *NURBS*adalah satu–satunya permukaan bentuk bebas (*free-form surface*) yang didukung dalam *format file IGES,format*yang paling populer untuk pertukaran data antara perangkat lunak *CAD*.Pierre Bezier (1950)

Permukaan *parametrik* seperti *NURBS* dihasilkan dengan melakukan operasi *tensor product* terhadap dua buah kurva *parametrik*. Permukaan yang dihasilkan dari operasi ini memiliki topologi persegi panjang. Jika digunakan untuk memodelkan produk dengan geometri yang rumit diperlukan beberapa permukaan *parametrik* untuk menutupi seluruh permukaan produk yang akan dimodelkan. Penggunaan permukaan *parametrik* dengan topologi persegi panjang memiliki dampak pada banyaknya titik-titik kontrol yang sebenarnya tidak memiliki informasi geometri namun tidak diabaikan. Selain itu,pinggiran dari permukaan *parametrik* yang bersebelahan sering kali tidak berkesesuaian sehingga model geometri sering berhimpit (*watertight*). Untuk mengatasi kekurangan yang ada pada permukaan *parametrik* yang bertopologi persegi panjang dikembangkanlah *T-Splines* (Sederberg dkk,2003). *T-Splines* pada dasarnya adalah *PB-Spline* dengan titik-titik kontrol yang diatur dengan menggunakan *grid* kontrol yang dikenal dengan *T-mesh*.*PB-spline* diekspresikan menggunakan persamaan

$$\mathbf{P}(s,t)=\frac{\sum_{i=1}^{n}\mathbf{P}_i B_i(s,t)}{\sum_{i=1}^{n} B_i(s,t)}, \quad (s,t) \in D \tag{1}$$

dimana $\mathbf{P}_i$ adalah titik-titik kontrol, $B_i(s,t)$ adalah fungsi basis yang dengan persamaan

$$B_i(s,t) = N_{i0}^3(s)N_{i0}^3(t) \tag{2}$$

dimana $N_{i0}^3(s)$ adalah fungsi basis *B-spline* kubik berkaitan dengan vektor *knot*

$$\boldsymbol{s}_i = [s_{i0}, s_{i1}, s_{i2}, s_{i3}, s_{i4}] \quad (3)$$

dimana $N_{i0}^{3}(t)$ adalah fungsi basis *B-spline* kubik berkaitan dengan vektor *knot*

$$\boldsymbol{t}_i = [t_{i0}, t_{i1}, t_{i2}, t_{i3}, t_{i4}] (4)$$

BAB III

PERMUKAAN GEOMETRI

Dalam merancang kerangka suatu produk para *desainer* memerlukan permodelan matematika untuk menghasilkan kurva atau permukaan yang halus. Kurva atau permukaan ini harus dapat diatur secara bebas dan *fleksibel.* Selain itu kriteria yang penting bagi *desainer* adalah apabila mereka melakukan modifikasi pada suatu daerah kurva atau permukaan idealnya adalah yang terpengaruh hanya sebatas daerah sekitar modifikasi dilakukan.dengan demikian rancangan yang telah sempurna tidak akan terpengaruh apabila mereka melakukan modifikasi pada daerah lain.

Untuk dapat menerapkan *T-spline* kedalam *CAD* diperlukan beberapa objek geometry pendukung terlebih dahulu. Objek-objek tersebut adalah.

a) Titik

b) Kurva *B-spline*

c) Permukaan *T-spline*

Semua objek geometry ini akan diterapkan ke dalamprogram komputer menggunakan bahasa pemograman python. Penjelasan secara terinci mengenai proses implementasi objek geometry yang digunakan *T-spline* ini akan dijelaskan pada subbab-subbab dibawah ini.

3.1 Titik

Titik digunakan sebagai pola (pattern) untuk deklarasi titik_1 serta titik_2 sehingga titik_1 serta titik_2 merupakan record dengan elemen-elemen yang sama dengan titik (masing-masing punya X serta Y-nya masing-masing). Kita gunakan tanda titik (.) untuk mengakses elemen-elemen dalam record. Misal,titik_1.X

Koordinat .(x,y,z)

float x;

float y;

float z;

pada sistem/perangkat lunak yang dikembangkan dengan paradigma beorientasi objek,pemanggil suatu operasi tidak perlu tahu bagaimana implementasi internal suatu operasi.

3.2 Kurva B-spline

Metode kurva *B-splines* yang merupakan perkembangan dari kurva Bezier. Pada kurva *B-splines*titik kontrol,tidak terbatas hanya 4 buah melainkan banyak titik kontrol (Bourke, Paul, 1996) Kurva *B-splines* juga lebih *fleksibel,* karena perubahan yang dilakukan pada titik kontrol tertentu hanya akan mempengaruhi bentuk kurva pada segmen didekat titik kontrol tersebut. Hal ini dikarenakan segmen kurva pada *B-splines* hanya dipengaruhi oleh beberapa titik kontrol yang ada didekatnya.

Bila terdapat n sebuah titik maka $\boldsymbol{C_t}$ dapat dihasilkan melalui fungsi yang kontinu C(t), seperti pada persamaan 1:

$$\mathbf{C}\,(t) = \sum_{i=0}^{n} \mathbf{P_i}\, N_{i,p}\ (t)$$

dimana

$\mathbf{p}_{\boldsymbol{i}}$= Titik control ke i

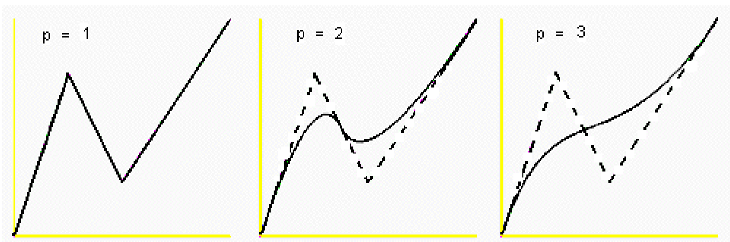
P = derajat, biasanya bernilai 3 dan 4

N = *blending function* atau basis.

N(t) disebut sebagai *blending function* yang dijabarkan sebagai berikut :

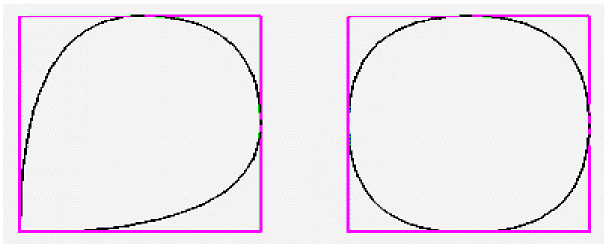
Blending function atau *basis function* (N) – merupakan fungsi yang menentukkan seberapa besar lengkungan dari kurva *B-splines*,yang dipengaruhi oleh besarnya,derajat,knot vektor dan t.

Gambar 2 adalah beberapa contoh kurva *B-splines* yang memiliki 4 buah titik kontrol, dengan derajat p = 1,2 dan 3. P = 1 hanyalah berupa garis lurus, dengan meningkatnya derajat, maka bentuk kurva akan menjadi semakin halus.



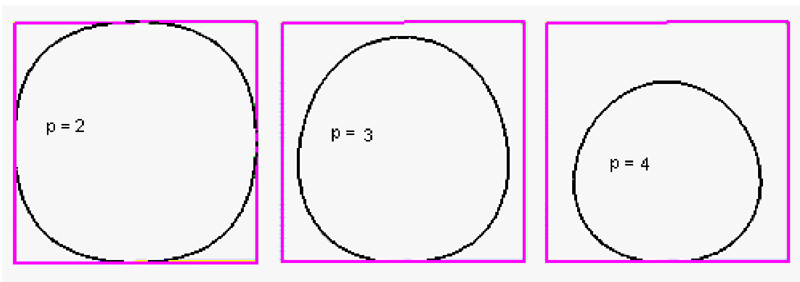
Gambar 2. Kurva *B-splines* dengan derajat (p) yang berbeda

Garis putus-putus pada gambar 2 menunjukkan garis poligon yang terbentuk dari 4 titik kontrol kurva yang ada,sedangkan garis lurus adalah kurva *B-splines*. Dapat dilihat bahwa kurva *B-splines* yang terbentuk berada pada convex hull dari titik kontrol. Pada gambar berikut ini, sebelah kiri menunjukkan kurva *B-splines* yang memiliki titik kontrol awal dan akhir yang sama, yaitu pada pojok kiri bawah. Kurva B-splines pada sebelah kanan memiliki titik kontrol awal dan akhir yang sama tetapi pada bagian tengah bawah.



Gambar 3. Kurva*B-splines* dengan titik kontrol awal dan akhir yang berhimpitan.

Sama seperti gambar 3.sebelah kanan, gambar 4 menunjukkan beberapa contoh kurva *B-Splines* dengan derajat yang berbeda-beda dan titik kontrol awal dan akhir yang berhimpit dan berada dibagian tengah bawah,



Gambar 4.kurva *B-Splines* dengan derajat yang berbeda dan titik kontrol awal dan akhir yang berhimpit.

Ruled surface adalah obyek 3D yang berupa suatu permukaan.sebuah permukaan disebut ruled jika setiap titik pembentuknya dilalui setidaknya satu garis yang terletak pada permukaan tersebut.*ruled surface* mempunyai bentuk parametrik seperti pada persamaan 2.

$$p(u,v) = (1-v)p0(u) + vp1(u) \quad (2)$$

Dimana :

p0,p1:dua buah kurva yang terletak di ruang 3D

u : variable yang mewakili kurva yang dibuat.biasanya dinyatakan dalam derajat.

v : variable dengan range nilai 0 sampai 1 digunakan untuk mewakili waktu.

Ruled surface terdiri dari garis-garis lurus yang menghubungkan setiap pasang titik yang berkoresponden dari kedua kurva yang sudah diinputkan. Secara garis besar, ruled surface di bagi menjadi tiga kelompok, seperti disebutkan dalam [1],yaitu:

a. Silinder

Silinder dihasilkan dari sebuah garis **L** yang disebut *generator* yang menyusuri sebuah kurva yang disebut *directrix.* Selama menyusuri, garis L selalu pararel terhadap dirinya sendiri. Bentuk silinder tampak pada gambar 5. Sedangkan bentuk parametriknya menjadi persamaan 5.

kurva yang rotasi terhadap salah satu sumbu koordinat sehingga menghasilkan sebuah obyek yang simetri terhadap sumbu tersebut. Untuk melakukan rotasi pada sumbu x, matrik dapat dilihat pada persamaan 8, rotasi pada sumbu y dapat dilihat pada persamaan 9 dan rotasi sumbu z dapat dilihat pada persamaan 10. Arah putaran terhadap sumbu x dapat dilihat pada gambar 8, terhadap sumbu y dapat dilihat pada gambar 9 dan terhadap sumbu z dapat dilihat pada gambar

3.4 Permukaan T-spline

Permukaan yang dihasilkan dari operasi ini memiliki topologi persegi panjang.jika digunakan untuk memodelkan produk dengan geometri yang rumit diperlukan beberapa permukaan *parametrik* untuk menutupi seluruh permukaan produk yang akan dimodelkan.penggunaan permukaan *parametrik* dengan topologi persegi panjang memiliki dampak pada banyaknya titik-titik kontrol yang sebenarnya tidak memiliki informasi geometri namun tidak diabaikan. Selain itu pinggiran dari permukaan *parametrik* yang bersebelahan sering kali tidak berkesesuaian sehingga model geometri sering berhimpit (*watertight*). Untuk mengatasi kekurangan yang ada pada permukaan *parametrik* yang bertopologi persegi panjang dikembangkanlah *T-Splines* (sederberg dkk,2003). *T-Splines* pada dasarnya adalah *PB-Splines* dengan titik-titik kontrol yang diatur dengan menggunakan *grid* kontrol yang dikenal dengan *T-mesh. PB-Splines*

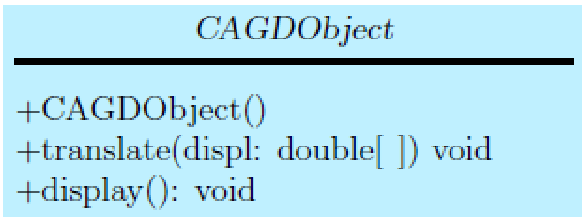
BAB IV

RANCANGAN PERANGKAT LUNAK

Bab ini membahas rancangan program komputer yang akan digunakan untukpenerapan kurva B-spline,NURBS serta permukaan B-Spline,NURBS,dan T-Spline untuk CAGD. Kurva dan permukaan akan diimplementasikan ke dalamsebuah program komputer menggunakan bahasa pemrograman python.rancangandibuat berdasarkan paradigma pemrograman berorientasi objek

1.1 CAGDObject Class

CAGDObject Class adalah kelas abstrak yang merupakan parent Class dari semua kelas yang mereprentasikan objek geometri.yang akan digunakan



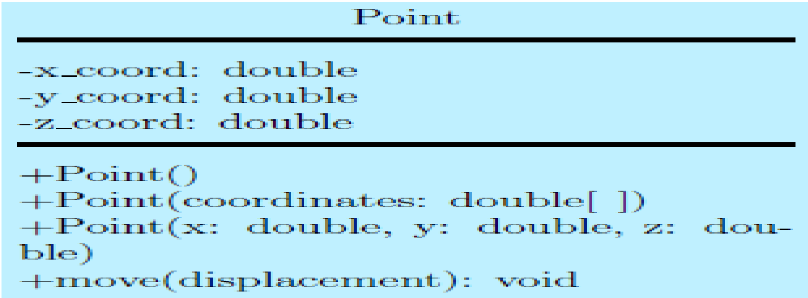
Gambar 1.1: Class diagram untuk abstract CAGDObject class

1.2 Poin Class

Poin Class memiliki 3 atribute yaitu:

1. x_coord yang merepresentasikan koordinat x dari objek titik
2. y_coord yang merepresentasikan koordinat y dari objek titik
3. z_coord yang merepresentasikan koordinat z dari objek titik

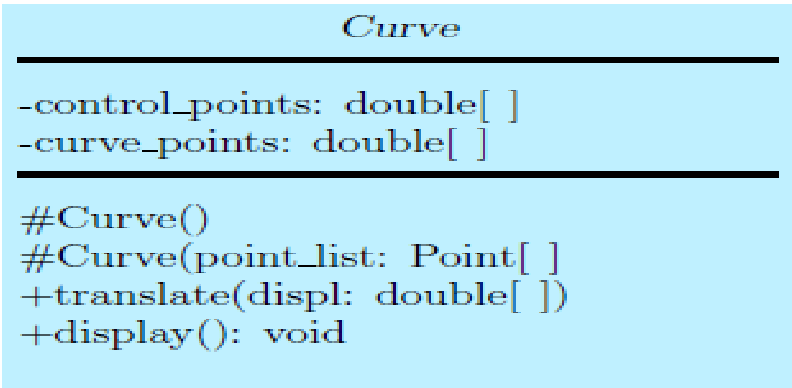
tanda minus yang ada didepan x_coord,y_coord,dan z_coord menunjukkan bahwa semua untuk kelas point bersifat private



Gambar 1.2: Class diagram untuk point class

1.3 Curve Class

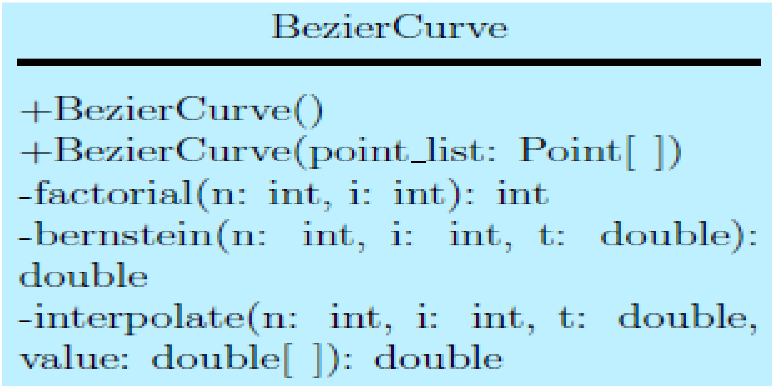
CurveClass adalah abtract class yang merupakan parent class dari Beziercurve,Bsplinecurve CAGDObject Class,adalah kelas abstrak NURBSCurve yang merupakan parent class dari semua kelas yang merepresentasikan objek geometri yang akan digunaka



Gambar 1.3: Class diagram untuk abstract Curve class

1.4 BezierCurve Class

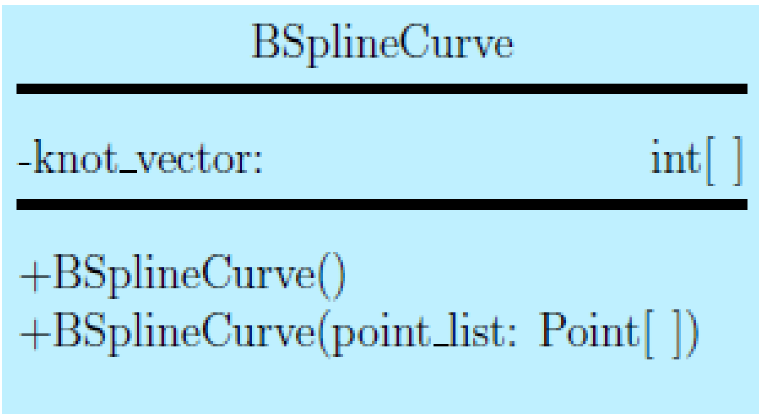
BezierCurve Class adalah abstrak class yang merupakan representasi class. Dari semua class yang mempersentasikan objek geometri yang akan digunakan



Gambar 1.4: Class diagram untuk BezierCurve class

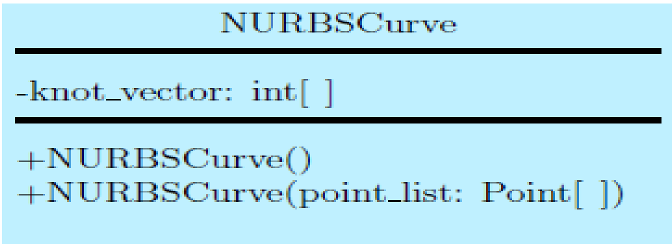
1.5 BsplinesCurve Class

BsplinesCurve Class adalah class yang merupakan parent class dari semua kelas yang merepresentasikan objek geometri yang akan digunakan



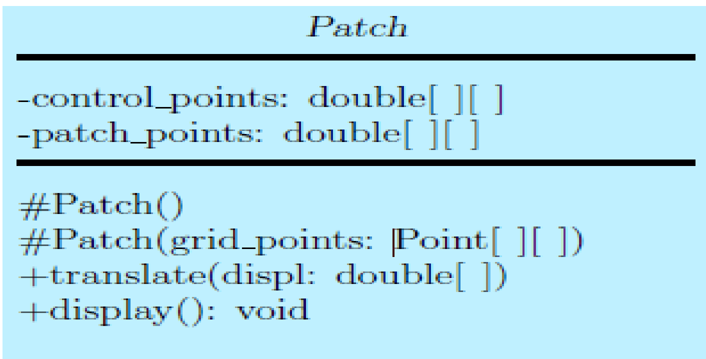
1.6 NURBSCurve Class

NURBSCurve class adalah merupakan parent class dari semua kelas yang merepresentasikan objek geometri yang digunakan



1.7 PathClass

Path class adalah abstract class yang merupakan parent class dari Bezier curve,BSplineCurve



1.8 BezierSurface Class

BezierSurface class adalah class abstrack yang merupakan parent class dari semua kelas yang merepresentasikan objek geometri yang akan digunakan

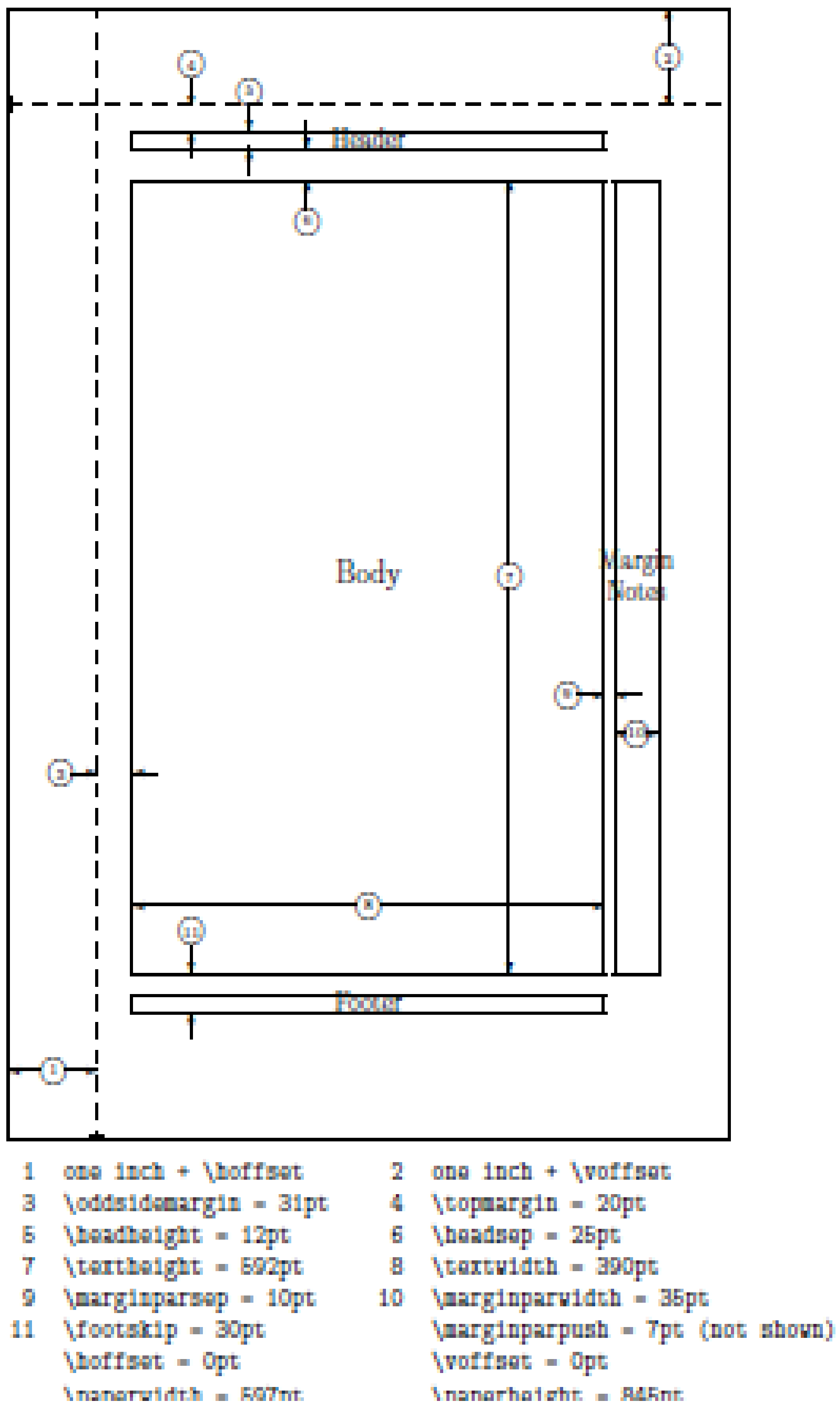
```
BezierSurface
----------------------------------------
-interpolate(m: int, n: int, s: double,
t: double, value:double[ ]): double
+BezierSurface()
+BezierSurface(grid_points:
Point[ ][ ])
```

1.9 BsplinesSurface Class

BsplinesSurface Class adalah grafik primitif yang direfresentasi sebuah Bsplinessurface rasional tidak seragam didefenisikan oleh array x,y,z titik kontrol

```
BSplineSurface
----------------------------------------
-knot_vector_s: int[ ]
-knot_vector_t: int[ ]
----------------------------------------
-interpolate(m: int, n: int, k: int,
l: int, s: double, t:double,
value: double[ ]): double
+BSplineSurface()
+BSplineSurface(grid_points:
Point[ ][ ]
```

1.10 NURBSSurface Class



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengamatan penulis dapat menarik kesimpulan bahwa dengan adanya rancangan penerapan T-splines untuk pemodelan CAD adalah:

1. penelitian ini menghasilkan rancangan penerapan T-Splines untuk pemodelan CAD.
2. Rancangan penerapan T-Splines untuk pemodelan CAD di implementasikan kedalam sebuah program komputer menggunakan bahasa pemrograman python
3. Rancangan Penerapan T-splines untuk pemodelan CAD ini dibuat berdasarkan paradigma pemrograman berorientasi objek

5.2 Saran

Dengan adanya program rancangan penerapan T-Splines untuk pemodelan CAD.

1. Diharapkan rancangan penerapan T-Splines untuk pemodelan CAD ini dapat membantu dalam menerapkan pemodelan geometri menggunakan CAD.
2. Seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi,maka tidak menutup kemungkinan rancangan penerapan T-Splines untuk pemodelan CAD yang telah ada ini dapat dikembangkan lagi dengan fasilitas-fasilitas yang belum ada pada perangkat lunak ini.