

PEMROGRAMAN CAD UNTUK PEMODELAN BENTUK PERMUKAAN SAYAP BURUNG (CAD PROGRAMING FOR MODELING THE SHAPE OF BIRD WING SURFACES)

Rais Zain*)¹, Sulisty Atmadi**), Iqbal Pamungkas***), Fajar Suryono***)

*) Kelompok Keahlian: Desain, Operasi dan Perawatan Pesawat Terbang, ITB

**) Peneliti, Pusat Teknologi Penerbangan, LAPAN

***) Alumni Program Studi Teknik Aeronotika dan Astronotika, ITB

Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung

¹e-mail:rais.fsi@gmail.com

ABSTRACT

The capability of bird wings has been explored as unlimited resources for the developments of aviation technology. For illustration, soaring birds such as Albatros, the shape of their wings are naturally very complex. Event in a steady soaring flight, the wing parameters vary smoothly in bandy forms from root to wing tip. In this work, the beauty of wing shape is studied in order to automatically generate a template of bird wing surfaces. It has been sistematically developed a techniques to represent several variations of wing parameters such as; wing section, swept angle, dihedral angle, twist angle, and chord lenght. CAD programing has been implemented on CATIA V5 due its capablilities to generate complex surface models with outstanding accuracy. Numerous functions and objects of Catia are employed by conducting particular accesses via component object models (COMs) by using Microsoft Visual Basic.Net. The result is an application that capable to generate complex surfaces such as bird wing surfaces with parametric capability. The computer program can be utilized as a tool for bird wing design. Furthermore, the surfaces can be utilized as parent for aerodynamic and structure analysis.

Keywords: Bird Wing Surfaces, CAD Programing, Catia V5, Visual Basic

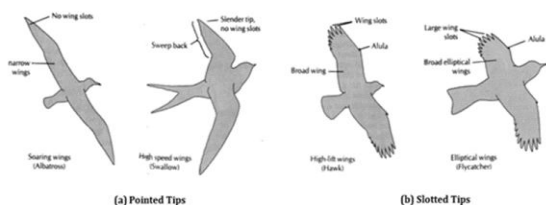
ABSTRAK

Kemampuan terbang sayap burung sudah sejak lama dipelajari untuk pengembangan teknologi penerbangan dan masih terus dipelajari sampai saat ini. Jenis burung *soaring* seperti Albatros, secara alamiah sayapnya mempunyai bentuk yang sangat komplek. Sekalipun pada saat terbang melayang, bentuk sayapnya memiliki banyak parameter yang bervariasi secara halus dengan bentuk yang berkelok mulai dari pangkal sampai ke ujung sayapnya. Pada paper ini keindahan bentuk permukaan sayap burung dipelajari yang kemudian secara sistematis dikembangkan suatu teknik untuk merepresentasikan variasi parameter bentuk sayap seperti; bentuk potongan sayap, sudut *swept*, sudut *dihedral*, sudut *twist*, dan panjang *chord*. Pemrograman CAD diterapkan pada pembuatan model permukaan sayap dimana CATIA V5 dipilih karena kemampuannya yang andal dalam memodelkan bentuk permukaan dengan akurasi yang tinggi. Sejumlah fungsi dan obyek milik Catia diakses melalui sarana *Component Object Models* (COMs) dengan menggunakan Microsoft Visual Basic.Net. Studi ini menghasilkan suatu program komputer yang mampu merepresentasikan bentuk permukaan sayap burung secara otomatis dan dilengkapi dengan kemampuan pengaturan parameternya. Program komputer ini dapat dipakai sebagai alat bantu untuk desain sayap burung. Bahkan dapat digunakan sebagai referensi untuk keperluan analisa aerodinamika dan struktur sayap.

Kata kunci: Permukaan Sayap Burung, Pemrograman CAD, Catia V5, Visual Basic

1 PENDAHULUAN

Kemampuan terbang burung sungguh luar biasa, semua fase terbangnya mulai dari sejak saat proses akan terbang, terbang menjelajah, bermanuver, terbang sambil menyergap mangsa, sampai pada proses mendaratnya, dilakukan atas peran sayapnya yang sangat adaptif dan efisien. Bentuk sayap burung tergantung dari jenis burung dan pola terbangnya. Burung yang terbang menjelajah cenderung memiliki *aspect ratio* yang tinggi dan bentuk ujung sayap tipe lancip (*pointed tips*) [Zahedi, 2007], sedang untuk yang jarak terbangnya pendek cenderung memiliki tipe *slotted tips* [Carr, 2002] sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 1-1. Sebagai contoh jenis burung *soaring* seperti Albatros, secara alamiah bentuk sayapnya sangat kompleks. Sekalipun hanya pada saat terbang melayang, bentuk sayapnya memiliki banyak parameter yang bervariasi secara halus dengan bentuk yang berkelok mulai dari pangkal sampai ke ujung sayapnya.

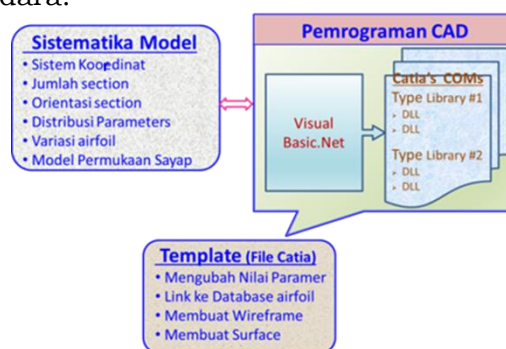


Gambar 1-1: Tipe-tipe *planform* sayap burung dan bentuk ujungnya [Carr, 2002]

Pada paper ini keindahan bentuk permukaan sayap burung dipelajari, yang meliputi perubahan parameter bentuk sayapnya sampai ke ujungnya, kemudian secara sistematis dikembangkan suatu model yang merepresentasikan variasi parameter bentuk sayap tersebut. Selanjutnya model tersebut diimplementasikan dalam pemrograman *Computer-Aided Design* (CAD) yang dalam studi ini dipakai Catia V5.

Di Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara ITB, pemrograman Catia-V5 telah intensif dilakukan sejak tahun 2006. Paper pertama yang dipublikasikan

adalah sistematika pembuatan model sayap pesawat udara yang diimplementasikan secara otomatis pada Catia V5 [Zain, 2007]. Sedang paper keempat pada tahun 2013 adalah tentang interaksi aero-struktur pada sayap pesawat udara yang fleksibel [Zain, 2013]. Pada tahun 2010, juga mulai dikembangkan model sayap burung yang lebih kompleks dibandingkan dengan model sayap pesawat [Suryono, 2010]. Pada tahun ini dimulai pengembangan sistematika model permukaan bilah propeler pesawat udara.



Gambar 1-2: Diagram pembuatan *template*

Pada gambar di atas ditunjukkan diagram alir pembuatan *template* untuk pembuatan permukaan sayap burung. Sistematika model sayapnya didasarkan pada jumlah *section* yang dibutuhkan, variasi parameter sayap dan distribusi *airfoil*-nya. Hasil akhirnya adalah sebuah *file* Catia *CatPart* yang mempunyai kemampuan parametrik untuk membuat beberapa tipe sayap burung sejenis. *Template* Catia tersebut dibuat secara otomatis oleh suatu program komputer yang dibuat pada paper ini. Program komputer ini diharapkan dapat dipakai sebagai alat bantu dalam kegiatan desain sayap burung dan pemanfaatan permukaannya.

Dengan menggunakan teknik pemrograman berorientasi pendekatan obyek (*object oriented approach*) maka beberapa fungsi milik Catia yang berupa *file Dynamic Link Library* (DLL) diakses melalui *Component Object Models* (COMs) [Catia User Manual, 2010]. Beberapa *file* DLL yang memiliki tipe yang serupa

dikemas dalam suatu kontener yang disebut *Type Library*.

2 PEMODELAN PERMUKAAN SAYAP

Secara umum permukaan sayap burung mempunyai pola yang serupa dari pangkalnya sampai dengan sekitar ujung sayapnya. Pada paper ini sistematisa bentuk permukaan sayap burung juga dibagi menjadi dua kelompok. Kelompok pertama adalah bagian bentuk yang generik yaitu mulai dari pangkal sayap sampai dengan bagian sebelum ujungnya. Sedangkan kelompok kedua adalah bentuk permukaan ujung sayap. Pada bab ini kedua kelompok tersebut akan dibahas.

Jika diamati garis-garis lengkungan pada bentuk sayap burung ternyata mempunyai banyak perbedaan yang signifikan dengan bentuk sayap pesawat udara. Pada pesawat udara garis *leading* dan *trailing edge*-nya cenderung berupa garis-garis lurus. Demikian pula jenis *airfoil*-nya hanya berbeda di ujung area sayapnya, dimana dalam satu area perubahan nilai parameternya adalah linier.

Namun pada bentuk sayap burung perubahannya dapat bervariasi mulai dari *dihedral* ke *unhedral* kemudian menjadi *dihedral* lagi, juga dari *sweptforward* menjadi *sweptback*. Sebagai contoh, pada Gambar 2-1 ditunjukkan variasi perubahan bentuk sayap burung Albatros. Pada paper ini sistematisa pemodelan permukaan sayap dibangun dengan memanfaatkan beberapa gambar burung Albatros. Namun hasil *template*-nya akan tetap bersifat umum untuk model sayap burung lain yaitu dengan cara mengubah nilai nilai input parameternya.

Parameter lain yang juga berubah pada sepanjang sayap burung adalah variasi *airfoil*-nya. Untuk itu perlu dibuat suatu penyimpanan yang berisi data titik koordinat beberapa *airfoil* yang disusun dengan aturan tertentu di dalam suatu *database*. *Database* ini bersifat independen terhadap *section* sayapnya,

sehingga tiap *section* dapat bebas di-link dengan salah satu *airfoil* di dalam *database*.



Gambar 2-1: Ilustrasi bentuk sayap burung Albatros [Noll, 2009]

2.1 Database Airfoil

Dari setiap jenis *airfoil* yang telah diketahui dari referensi *airfoil*, data koordinatnya disimpan dalam suatu *file* dengan format *textfile* (*.txt). Data koordinat pada tiap *file* tersebut harus disusun sesuai dengan aturan bahwa baris pertama berisi nama *airfoil*. Juga penulisan data koordinat *airfoil* dimulai dari baris kedua yang berisi koordinat titik pertama (pada TE). Data koordinat *airfoil* ditulis dengan arah horisontal terlebih dahulu, kemudian diikuti dengan koordinat titik pada arah vertikal. Nilai koordinat *airfoil* harus sudah dinormalisasi, yaitu nilai terbesar arah sumbu-x yaitu pada *trailing edge* (TE) sebesar (1,0) dan nilai terkecilnya ada pada *leading edge* (LE) sebesar (0,0).

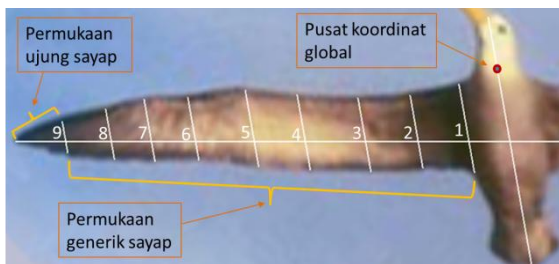
Menyesuaikan pada ketebalan sayap aktual burung pada bagian *trailing edge*-nya, maka diasumsikan *airfoil* pada daerah TE nya adalah lancip. Urutan penulisan data koordinat *airfoil* adalah dari titik TE ke arah depan sehingga membentuk profil atas *airfoil* yang melalui LE, kemudian memutar ke arah bawah sehingga kembali lagi ke titik di LE seperti ditunjukkan pada Gambar 2-2.



Gambar 2-2: Urutan penulisan data koordinat titik-titik *airfoil*

2.2 Segmen ke Arah Bentang Sayap

Pada Gambar 2-3 terlihat bahwa garis LE berbentuk *spline* yang mempunyai beberapa titik belok, begitu pula bentuk garis TE-nya. Model aktual garis LE dan TE nya dapat didekati dengan beberapa *section* yang selanjutnya dihubungkan dengan *spline*. Semakin rapat jarak antar *section* maka akan semakin mendekati pada bentuk aktual sayapnya. Letak setiap *section* ke arah bentang sayap harus dapat diubah posisinya melalui *input* parameter.



Gambar 2-3: Planform sayap burung

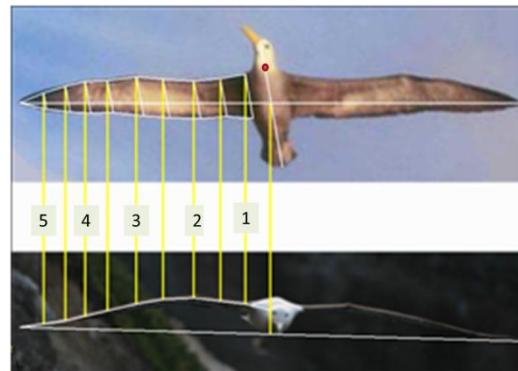
2.3 Koordinat Global dan Lokal

Titik pusat koordinat global diletakkan pada perpotongan dua bidang, yaitu antara bidang simetri badan burung dan bidang pangkal lehernya. Sumbu-Y berarah ke ujung sayap kanannya, dan sumbu-X berarah ke ekor burung, sedang sumbu-Z berarah ke atas badan burung pada bidang simetrinya.

Pada saat implementasi di CAD sering dialami kendala kapasitas memori komputer, pada kasus ini hanya sebagian *section* saja yang ditetapkan menjadi koordinat lokal, maka jumlah *section* dikurangi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2-4. Jumlah lima buah *section* tersebut adalah minimum, tetapi masih mampu untuk merepresentasikan bentuk permukaan sayap burung Albatros.

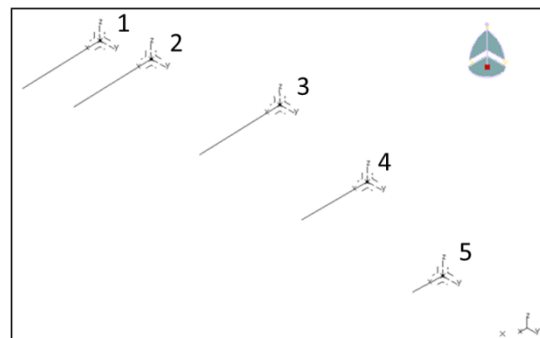
Untuk menetapkan koordinat lokal pertama, calon *section*-1, maka dibuat satu bidang datar (bidang-1) yang merupakan pertemuan antara pangkal sayap dan badan burung. Secara alamiah bidang ini tidak selalu sejajar dengan bidang-XZ milik koordinat global, tetapi secara umum cenderung

sejajar. Titik pusat koordinat-1 dipilih pada satu titik terdepan pada bidang-1 tersebut, sekaligus menjadi titik *leading edge*-nya. Kemudian dilakukan proyeksi sumbu-X global ke bidang-1. Orientasi koordinat-1 adalah bidang-XZ berimpit dengan bidang-1 dengan sumbu-X lokalnya mempunyai parameter sudut pasang sayap terhadap garis hasil proyeksi tersebut. Sumbu-Y diarahkan ke ujung sayapnya, sedang sumbu-Z ke arah atas sayapnya.



Gambar 2 4: Distribusi *section* sayap

Selanjutnya dari titik-1 dibuat satu garis lurus yang mempunyai parameter jarak pada sumbu-Y global, parameter sudut *dihedral*, dan sudut *swept*. Garis lurus ini bukan garis *leading edge* sayap burung, tapi hanya berupa garis bantu untuk membuat koordinat-2. Titik pusat koordinat-2 berada pada ujung garis tersebut.

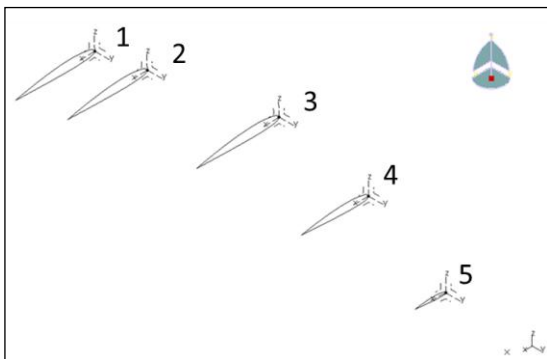


Gambar 2-5: Jumlah *section* minimum

Selanjutnya dari titik pusat koordinat-2 dibuat garis chord-2 dengan panjang parametrik dan mempunyai parameter sudut *twist* terhadap Sumbu-X dari koordinat-1. Koordinat-2 dibuat bereferensi pada garis chord-2 dan mempunyai parameter sudut putaran

terhadap garis chord-2. Jadi untuk membuat koordinat-2 dari koordinat-1 terdapat 6 parameter yaitu; jarak *section*, sudut *dihedral* dan *swept*, sudut *twist* dan parameter sudut putar, parameter panjang *chord*. Dengan menyediakan empat parameter jarak dan dua parameter panjang maka dapat diimplementasi enam derajat kebebasan tiap *section* untuk merepresentasikan model sayap burung. Prosedur yang serupa diulang untuk beberapa *section* selanjutnya yaitu *section* (3,4,5). Gambar 2-5 memberikan ilustrasi lima buah koordinat minimum untuk model sayap Albatros.

Setiap bidang-XZ koordinat lokal dijadikan bidang untuk dihubungkan dengan *database airfoil*. *Link* akan mengambil data untuk membuat sejumlah titik dari (1,0) ke (0,0) dan kembali ke titik (1,0). Kemudian dilakukan penyesuaian ukuran *airfoil* dengan panjang *chord* lokalnya. Distribusi *airfoil* setiap *section* disajikan pada Gambar 2-6.

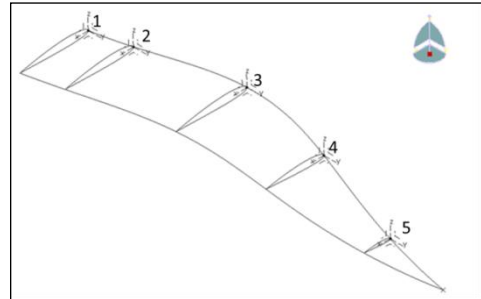


Gambar 2-6: Distribusi *airfoil* setiap *section*

Pada paper ini hanya jenis sayap lancip yang dieksplorasi. Untuk tipe sayap *slotted* akan dibuat pada paper yang akan datang. Untuk memodelkan sayap lancip maka perlu dibuat satu titik yang mempunyai parameter (x,y,z) sebagai titik ujung sayap. Kemudian dibuat satu *spline* berurutan dari titik pusat koordinat-1 sampai koordinat-5 dan berhenti di titik ujung sayap. Hal serupa dibuat satu *spline* lain dari titik *trailing edge chord-1* sampai *chord-5* dan berakhir di titik ujung sayap. Akhirnya terbentuk susunan *wireframe* bentuk

sayap burung sebagaimana disajikan pada Gambar 2-7.

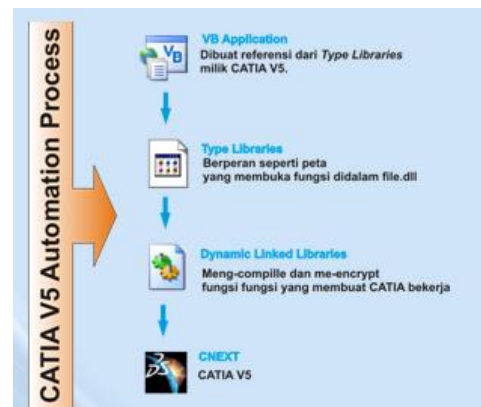
Sistematika pembuatan permukaan sayap (*wing surface*) akan dijelaskan pada bab berikut karena terkait dengan hal hal yang praktis pada masalah CAD.



Gambar 2-7: *Wireframe* sayap Albatros

3 PEMROGRAMAN CAD

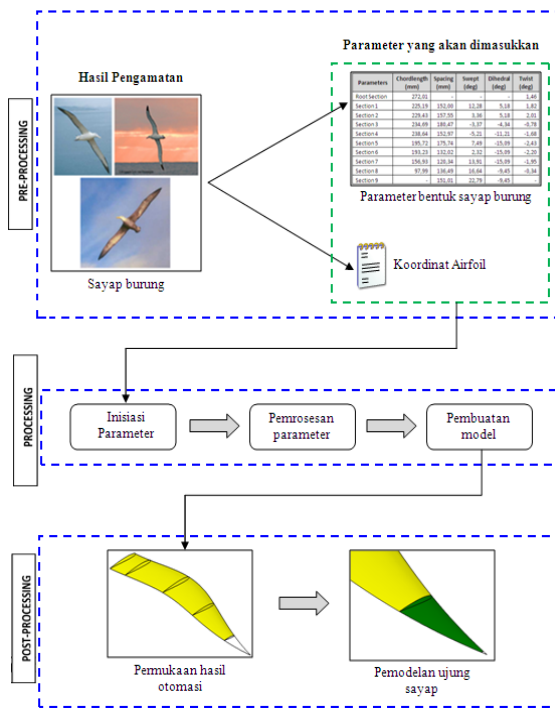
Pada bab ini dibahas implementasi pemrograman CAD dari pemodelan yang dijelaskan pada Bab-2. Pada Gambar 1-2 diilustrasikan secara umum penggunaan Visual Basic untuk mengakses fungsi obyek milik Catia [Deitel, 2010]. Sedang pada Gambar 3-1 dijelaskan bahwa prosedur akses dimulai dengan memanggil kelompok *type library* dan kemudian mengakses beberapa *file* yang tersedia dalam format *dynamic link library*. Pada saat satu *file* dipanggil, maka program utama Catia yang disebut CNEXT mengeksekusi objek DLL tersebut untuk dirambatkan pada semua variabel yang berkaitan. Pengurutan akses pada beberapa obyek DLL dikemas dengan menggunakan kotak interaksi (*window dialog/user interface*) untuk memudahkan *user* dalam menggunakan program.



Gambar 3-1: Ilustrasi akses obyek pada Catia

3.1 Implementasi Pemrograman

Pemrograman permukaan sayap burung dibagi menjadi tiga tahap yaitu *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing*. Pada tahap *pre-processing*, user memasukkan semua data yang dibutuhkan melalui *window dialog*. Sedang pada tahap *processing* program Visual Basic melakukan *link* dengan *database airfoil* dan memberikan nilai nilai parameter pada obyek Catia. Tahap *post-processing* adalah proses internal Catia misalnya membuat titik, garis, koordinat, dan *surface* sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 3-2.



Gambar 3-2: Diagram Implementasi

3.2 Pre-Processing

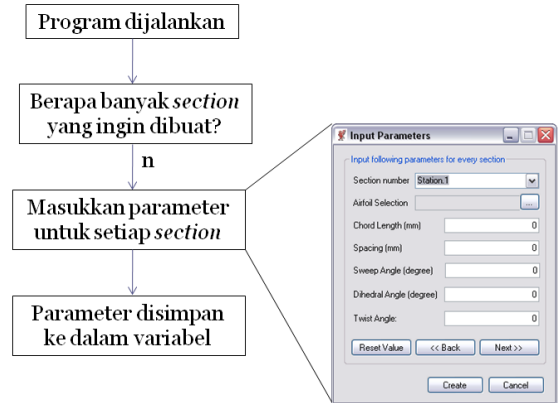
User dapat menentukan sejumlah *n* buah *section* yang diinginkan, kemudian program akan menampilkan pilihan *dropdown menu* sebanyak *n* kali yang telah ditetapkan. Pengguna menentukan nilai nilai pada setiap *section* mulai dari *section-1* hingga *section-n* (*tip section*).

Pada Gambar 3-3 diilustrasikan diagram proses dan *window dialog*. Parameter putaran pada Sumbu-X lokal tidak ditampilkan pada *window dialog*, parameter ini secara otomatis dibuat pada *template* dan diberi nilai parameter nol. Melalui *template* tersebut, user

dapat mengubah nilai parameter putaran sudut tersebut.

3.3 Membuat Permukaan Utama

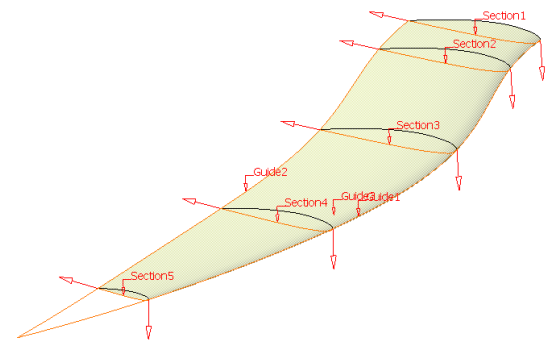
Untuk memperoleh bentuk permukaan yang akurat dengan menggunakan proses internal Catia, maka permukaan utama sayap burung dibuat menjadi dua bagian yaitu permukaan atas dan permukaan bawah.



Gambar 3-3: *Window dialog* pengisian parameter tiap *section*

Untuk membuat permukaan atas dengan metode *multisection surface*, maka dipilih kurva bagian atas *airfoil* dari *section-1* s/d *section-n*, kemudian ditentukan dua garis pemandu (*guide lines*) dalam hal ini adalah *spline* dari *leading edge* dan *trailing edge*. Catia menterjemahkan kelompok perintah tersebut menjadi permukaan yang akurat melingkupi bagian atas sayap.

Urutan yang serupa dilakukan untuk membuat permukaan bagian bawah. Permukaan atas dan bawah dapat digabungkan (*di-join*) jika diperlukan. Hasil pembuatan permukaan tersebut ditunjukkan pada Gambar 3-4.

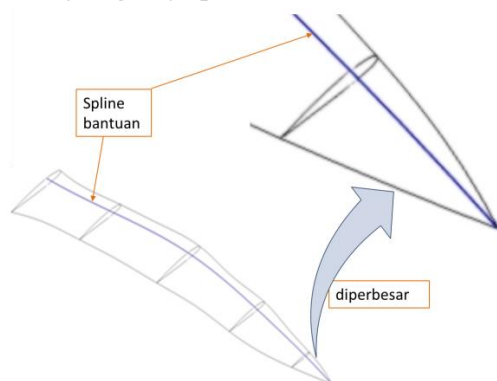


Gambar 3-4: Pembuatan permukaan utama sayap Albatros

3.4 Permukaan Ujung Sayap

Untuk ujung sayap burung tipe lancip, pembuatan permukaan ujung sayapnya hanya tersedia tiga referensi yaitu segmen ujung *leading* dan *trailing edge*, dan segmen kurva bagian atas dan bawah *airfoil* pada *section* terakhir, dalam contoh ini *section-5*. Contoh, untuk men-*generate* permukaan bagian atasnya hanya tersedia segmen ujung *leading* dan *trailing edge*, dan segmen kurva bagian atas *airfoil* dari *Section-5*. Jika letak *section* terakhir tidak cukup dekat dengan titik ujungnya, maka hasil permukaannya sering bermasalah karena bentuk permukaan ujungnya tidak kontinu dengan permukaan utamanya.

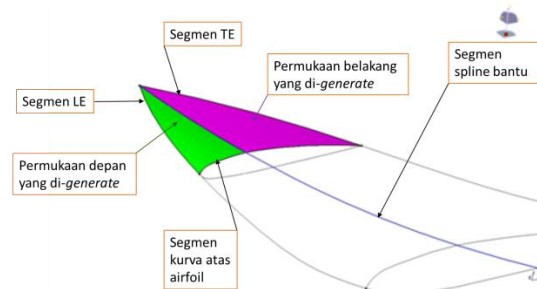
Setelah mencoba beberapa cara, maka cara yang terbaik adalah dengan membuat beberapa garis bantuan. Untuk permukaan atas hanya membutuhkan satu garis bantuan, karena umumnya kurva bagian atas *airfoil* hanya mempunyai satu titik belok. Untuk setiap *section*, diupayakan untuk menemukan titik beloknya. Kemudian dibuat *spline* yang menghubungkan titik belok *section-1* s.d *section-5* dilanjutkan ke titik ujungnya sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3-5. Kurva warna biru adalah *spline* bantuan yang melalui semua titik titik belok sampai ke titik ujung sayap.



Gambar 3-5: Garis bantu bagian atas

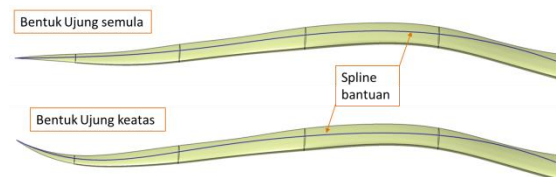
Permukaan atasnya dibuat melalui dua kali konstruksi permukaan, yaitu permukaan bagian depan dan bagian belakang. Pada bagian depannya digunakan referensi segmen *leading* dan

spline bantuan, dan segmen kurva *airfoil* bagian atas-depan, permukaan warna hijau. Sedang untuk membuat permukaan bagian belakang dimanfaatkan referensi segmen *leading* dan *spline* bantuan, dan segmen kurva *airfoil* bagian atas-belakang, permukaan warna ungu. Kemudian kedua permukaan tersebut digabung (*join*) untuk membentuk seluruh permukaan atas ujung sayap sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3-6.



Gambar 3-6: Dua bagian permukaan ujung atas sayap burung

Jika kurva *airfoil* bagian bawah mempunyai banyak titik belok, maka *spline* garis bantuanya dibuat lebih banyak juga. Teknik membuat permukaan ujung sayap dengan menggunakan *spline* bantuan sangat cocok untuk penerapan pemrograman CAD karena sangat adaptif terhadap perubahan letak titik ujungnya.



Gambar 3-7: Adaptasi perubahan bentuk ujung sayap

Letak titik ujung sayap burung adalah parametrik, maka sangat mudah untuk mengakomodir perubahan sesuai dengan kebutuhan *user*. Pada Gambar 3-7 ditampilkan kemampuan adaptasi bentuk permukaan ujung sayap burung terhadap perubahan letak titik ujung sayapnya. Gambar kotak atas adalah bentuk awal sebagaimana saat di-*generate* pada Gambar 3-6, sedang gambar kotak bawah adalah hasil adaptasi karena letak titik ujungnya digeser ke atas.

4 KESIMPULAN DAN LANJUTAN

4.1 Kesimpulan

- Pemodelan *wireframe* sayap burung dengan mendefinisikan enam parameter dan *link* dengan *database airfoil* pada tiap *section*-nya cocok untuk mengkonstruksi bagian utama sayap burung,
- Penggunaan *spline* bantuan yang menghubungkan rangkaian titik-titik belok dari *root* sampai dengan titik ujung sayap sangat cocok untuk digunakan sebagai bantuan untuk mengkonstruksi permukaan ujung sayap tipe lancip,
- Metode *multi-section* yang mengurutkan profil kurva *airfoil* dengan pemandu *spline leading* dan *trailing edge* cocok untuk digunakan dalam men-*generate* bentuk permukaan bagian utama sayap.
- Penerapan otomasi dengan menggunakan *Catia* mampu meningkatkan akurasi dalam pembuatan *template* dibandingkan dengan pembuatan *template* secara *manual*.

4.2 Pekerjaan Lanjutan

- Perlu dikembangkan pemodelan beberapa tipe bentuk ujung sayap burung sebagaimana disajikan pada Gambar 1-1.
- Perlu diterapkan *error handling* pada program.
- Untuk keperluan rekonstruksi bentuk sayap burung saat terbang, maka perlu dilakukan pengambilan foto burung pada saat terbang dari berbagai sudut yang berbeda pada saat yang bersamaan. Rekonstruksi permukaan sayap burung tersebut dapat memberikan pengetahuan tentang variasi parameter di sepanjang sayapnya termasuk bentuk profil *airfoil*-nya.

DAFTAR RUJUKAN

- Carr, M.S., 2009. *Wing Types in Birds*, Dipetik 16 Maret 2009, dari: <http://www.paulnoll.com/Oregon/Birds/Wing-types-in-birds.html>.
- Noll, P., 2009. *Soaring Seabirds in Bird Flight*, Dipetik 31 Maret 2009, dari: <http://www.paulnoll.com/Oregon/Birds/soaring-seabirds-in-flight.html>.
- Rais Zain, Indra Nurhadi, Bambang Kismono Hadi, Wayan Tjatra, 2013. *CAD Based Interaction of Wing Structures and Aerodynamic Loads using Finite Element Model and Transonic Small Disturbance Model*, Journal of KONES Powertrain and Transportation, Vol.20, No.2, 2013.
- Rais Zain, & Iqbal R. Pamungkas, 2007. *Development of Some Approaches for Generating Lifting Surfaces and Fuselage Surfaces using Catia-V5*, Regional Conference on Aerospace Science Technology and Industry (RC-ASTI2007), Bandung.
- Catia User Manual, 2012. *Catia V5 Documentation*, Dassault Systemes, France.
- Deitel, H.M., Deitel, P.J., 2010. *Visual Basic Net How to Program*, Prentice Hall, USA.
- Suryono, Fajar, 2010. *Pemodelan Permukaan Sayap Burung Dengan Menggunakan Visual Basic.Net Pada Catia V5*, Tugas Akhir, Program Studi Aeronotika dan Astronotika, Institut Teknologi Bandung.
- Zahedi, M.S., Khan, M.Y., 2007. *A Mechanical Model of Wing and Theoretical Estimate of Taper Factor for Three Gliding Birds*, Indian Academy of Science.