

## **PEMBANGUNAN PERISIAN (VORLATTE) MENGGUNAKAN KAEDAH KEKISI VORTEKS BAGI MENENTUKAN CIRI AERODINAMIK SAYAP SEMBARANGAN**

Zainul Rashid Shamsudin

Mohammad Nazri Mohd. Jaafar

Jabatan Aeronautik dan Automotif  
Fakulti Kejuruteraan Mekanikal  
Universiti Teknologi Malaysia  
81310 Skudai, JOHOR

### **ABSTRAK**

*Proses mereka bentuk sesebuah kenderaan seperti pesawat terbang terdiri daripada beberapa peringkat sebelum ia dapat disiapkan. Bermula dari kajian parametrik sehinggalah kepada peringkat fabrikasinya, setiap satu peringkat saling bersandar antara satu sama lain. Salah satu peringkat yang memainkan peranan terpenting ialah proses penganggaran ciri-ciri aerodinamik [1].*

*Dewasa ini pembangunan terhadap kaedah penganggaran masih lagi pada peringkat pengkajian biarpun beberapa keputusan menunjukkan nilai-nilainya agak baik. Pembangunan teknologi komputer telah memungkinkan segala teori yang telah lama wujud tentang penganggaran ciri-ciri aerodinamik. Ciri-ciri aerodinamik tersebut ialah seperti pekali daya angkat, daya seret dan tekanan.*

*Antara kaedah yang menjadi kajian penganalisis aerodinamik ialah Kaedah Panel dan Kaedah Kekisi Vorteks [2]. Kemajuan teknologi komputer lewat 80an telah membolehkan pelbagai perisian yang berlandaskan kaedah ini dibangunkan. Namun begitu ketepatannya masih belum berupaya menyamai ujian terowong angin.*

*Kertas kerja ini bertujuan menerangkan pembangunan sebuah perisian yang menggunakan kaedah kekisi vorteks, yakni satu kaedah yang dimajukan dari teori klasik Ludwig Prandtl iaitu teori 'garis mengangkat' kepada teori 'permukaan mengangkat' sehingga terhasilnya ciri-ciri aerodinamik sesuatu bentuk jasad sembarangan [3 & 4].*

## **1.0 PENGENALAN**

Kaedah Kekisi Vorteks yang sedia ada kini telah terbukti berkesan secara praktikalnya dan mampu disesuaikan dengan sebarang tatarajah bentuk plan sayap. Ia amat berguna bagi penganalisis aerodinamik dan pereka bentuk sayap pesawat terbang.

Kaedah ini dapat menganggarkan ciri-ciri aerodinamik sesuatu reka bentuk bentuk plan sayap dengan ketepatan yang agak tinggi. Kejayaan ini adalah kerana teknik yang diguna menggunakan kaedah berangka yang mudah dan ringkas.

Dalam kaedah ini, sayap dimodelkan sebagai satu permukaan plan yang terdiri daripada sejumlah panel. Panel-panel ini mengandungi beberapa siri sistem ladam-kuda yang saling bertindan seperti mana teori daya angkat pada permukaan.

Setiap panel itu mempunyai kekuatan vorteksnya sendiri. Kekuatan vorteks ini boleh diperolehi dengan memenuhi keadaan sempadan aliran.

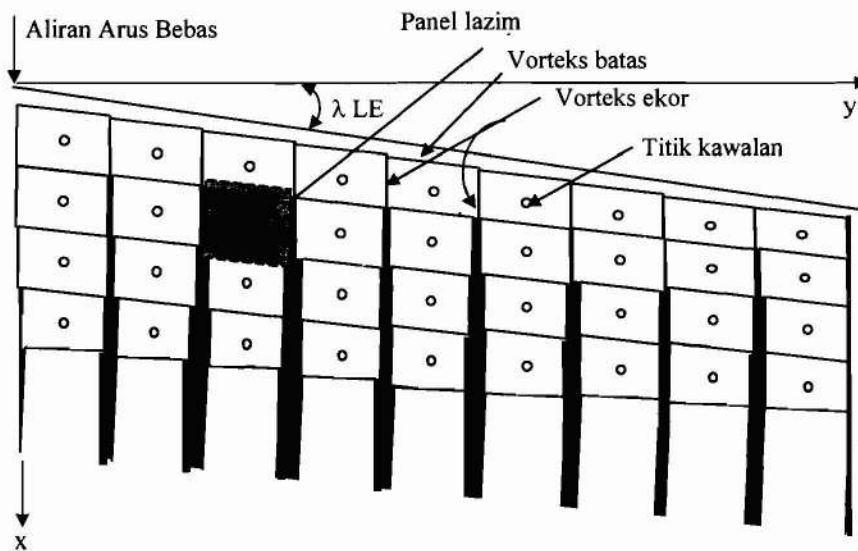
Keadaan ini boleh dicapai dengan meletakkan satu titik kawalan bagi setiap panel dan halaju normal aliran terhadap permukaan pada titik kawalan diberikan sebagai sifar. Untuk setiap panel yang tidak diketahui akan kekuatan vorteksnya, ia akan mempunyai keadaannya sendiri yang akhirnya akan membentuk satu sistem persamaan aljabar.

### **1.1 Latar Belakang Teori**

Sepertimana yang telah dijelaskan, kaedah ini dimodelkan sebagai satu permukaan datar sesatah dengan sejumlah panel yang mengandungi satu sistem vorteks ladam-

kuda yang saling bertindan. Sistem vorteks ladam-kuda yang diletakkan dalam satu panel ini dinamai sebagai satu elemen terhingga atau kekisi.

Penjumlahan bagi setiap titik kawalan yang dilakukan akan menghasilkan persamaan aljabar yang lurus. Apabila diselesaikan persamaan ini, diperolehi nilai-nilai kekuatan vorteks sistem dengan berlandaskan syarat sempadan yang ditetapkan. Tatacara penyelesaian berangka persamaan bagi aliran dinamai sebagai Kaedah Kekisi Vorteks. Penggunaan kaedah ini ditunjukkan di dalam Rajah 1.

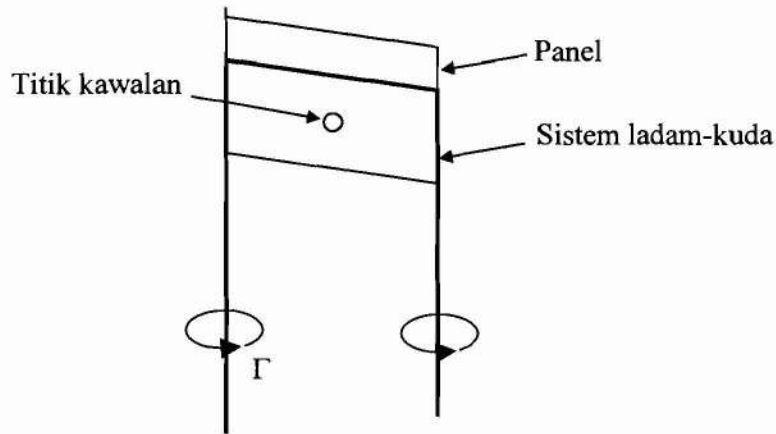


Rajah 1 Penggunaan kaedah kekisi vorteks pada sayap

Garis vorteks batas mempunyai arah yang selari dengan garis sukuan panel iaitu selari dengan garis sudut sapu belakang. Ada teori yang menyatakan bahawa panel-panel ini terletak pada permukaan kamber min dan apabila vorteks mengekor meninggalkan sayap, ia akan mengikut sama dengan laluan yang melengkung. Bagaimanapun dalam kebanyakan penggunaan, untuk kesesuaian ketepatan maka kelengkungan ini diabaikan.

Dalam teori kaedah lurus, vorteks yang meninggalkan sayap dikatakan selari dengan aliran udara arus bebas ataupun selari dengan paksi badan pesawat.

Kedua-duanya akan memberikan jawapan yang hampir sama ketepatannya. Selain itu sudut tuju pesawat tidak akan mempengaruhi nilainya.

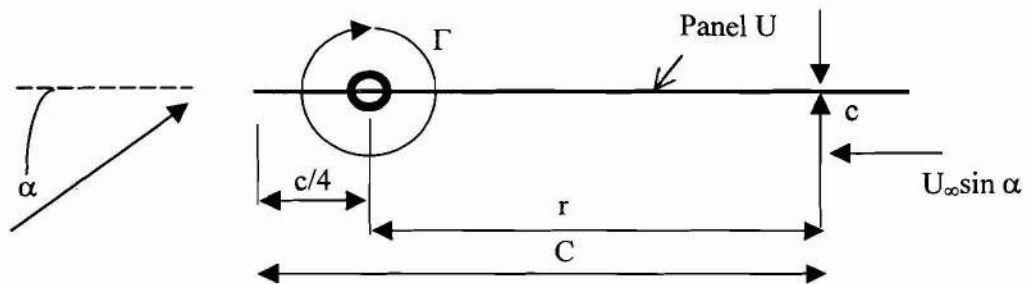


Rajah 2 Penggunaan kaedah kekisi vorteks ke atas sebuah panel

Bagi sebuah panel terdapat satu titik yang dipilih di mana pada titik ini halaju teraruh ditentukan menggunakan hukum Biot-Savart. Kedudukan titik ini ialah pada  $\frac{3}{4}$  panjang panel manakala vorteks ladam-kuda diletakkan pada  $\frac{1}{4}$  panel (Rajah 2).

### 1.1.1 Kedudukan titik kawalan $\frac{3}{4}$ panel

Untuk penerangan bagi pemilihan kedudukan titik kawalan, rujuk pada Rajah 3.



Rajah 3 Lokasi titik kawalan

Satu garis filamen vorteks dengan kekuatan,  $\Gamma$  diletakkan pada sukuan sesebuah panel. Garis filamen vorteks tersebut akan mengaruh suatu halaju pada titik C sementara titik kawalan diletakkan pada jarak  $r$  dari filamen vorteks. Jika aliran bebas diambil sebagai selari dengan permukaan titik kawalan, sudut tuju permukaan itu berbanding aliran arus bebas diberikan sebagai [5]:

$$\alpha = \sin \alpha = \frac{U}{U_\infty} = \frac{\Gamma}{2\pi r U_\infty} \quad (1)$$

dengan nilai  $\alpha$  adalah terlalu kecil.

Bagaimanapun, diketahui bahawa:

$$l = \frac{1}{2} \rho_\infty U_\infty^2 C 2\pi\alpha = \rho_\infty U_\infty \Gamma \quad (2)$$

Dengan menyelesaikan kedua-dua persamaan di atas maka diperolehi:

$$\pi \rho_\infty U_\infty^2 C \frac{\Gamma}{2\pi r U_\infty} = \rho_\infty U_\infty \Gamma \quad (3)$$

dengan  $r = C/2$

Dengan itu telah dibuktikan bahawa kedudukan titik kawalan adalah terletak pada  $\frac{3}{4}$  panel.

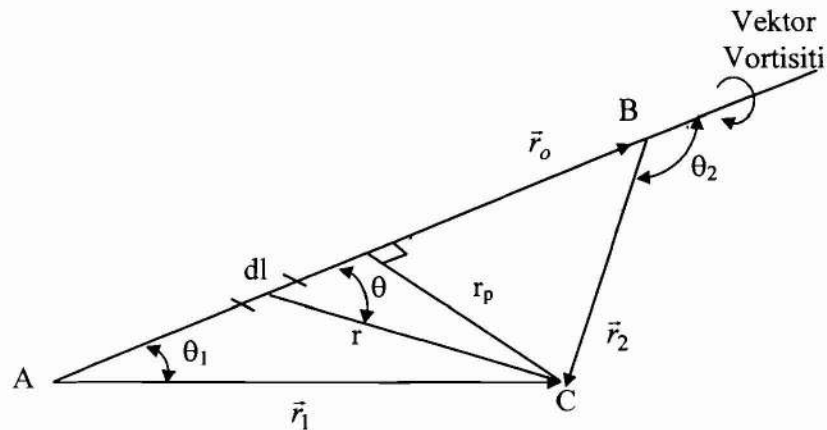
### 1.1.2 Halaju Aruhan Vorteks Ladam-Kuda

Halaju yang teraruh oleh garis filamen vorteks dengan kekuatan  $\Gamma_n$  dan jarak  $dl$  diberikan oleh hukum Biot-Savart sebagai

$$\vec{dV} = \frac{\Gamma_n (\vec{dl} \times \vec{r})}{4\pi r^3} \quad (4)$$

Merujuk kepada Rajah 4 magnitud halaju yang teraruh diberikan sebagai

$$dV = \frac{\Gamma_n \sin \theta dl}{4\pi r^3} \quad (5)$$



Rajah 4 Tatanda bagi pengiraan halaju teraruh oleh segmen terhingga

Perkara yang menjadi perhatian di sini ialah bahagian yang teraruh oleh satu sistem ladam-kuda iaitu yang mengandungi 3 segmen seperti Rajah 4. Dengan menggunakan Hukum Biot-Savart kesan untuk setiap segmen tersebut boleh ditentukan.

Ambil AB sebagai satu segmen di mana vektor vortisitinya dari A ke B. Ambil titik C di mana jarak serenjang dari garis AB ke titik C ialah  $r_p$ . Dari Rajah 4 diperolehi

$$r = \frac{r_p}{\sin \theta} \quad \text{dan} \quad dl = r_p (\text{kosek}^2 \theta) d\theta$$

Untuk memperolehi nilai halaju teraruh, persamaan (5) dikamirkan dari titik A ke B iaitu

$$V = \frac{\Gamma_n}{4\pi r_p} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin \theta d\theta = \frac{\Gamma_n}{4\pi r_p} (\text{kos} \theta_1 - \text{kos} \theta_2) \quad (6)$$

Perhatikan jika garis filamen vorteks diunjur ke infiniti maka,  $\theta_1 = 0$  dan  $\theta_2 = \pi$ .

Merujuk kembali pada Rajah 4, vektor  $\overrightarrow{AB}$ ,  $\overrightarrow{AC}$  dan  $\overrightarrow{BC}$  diambil sebagai  $\vec{r}_o$ ,  $\vec{r}_1$  dan  $\vec{r}_2$ . Maka diperolehi

$$r_p = \frac{|\vec{r}_1 \times \vec{r}_2|}{r_o}; \quad \cos \theta_1 = \frac{\vec{r}_o \cdot \vec{r}_1}{r_o r_1} \quad \text{dan} \quad \cos \theta_2 = \frac{\vec{r}_o \cdot \vec{r}_2}{r_o r_2}$$

Perhatikan bahawa sebutan yang tiada anak panah adalah sebutan yang mempunyai magnitud sahaja.

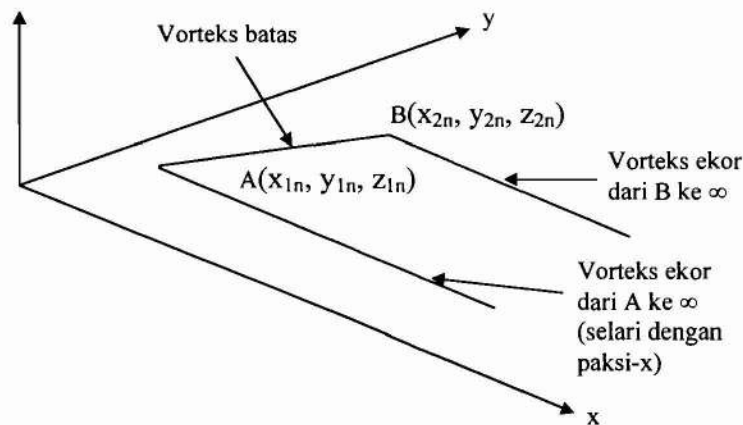
Dengan menggantikan nilai-nilai di atas ke dalam persamaan (6) maka diperolehi,

$$\vec{v} = \frac{\Gamma_n}{4\pi} \frac{\vec{r}_1 \times \vec{r}_2}{|\vec{r}_1 \times \vec{r}_2|^2} \left[ \vec{r}_o \cdot \left( \frac{\vec{r}_1}{r_1} - \frac{\vec{r}_2}{r_2} \right) \right] \quad (7)$$

dengan  $\frac{\vec{r}_1 \times \vec{r}_2}{|\vec{r}_1 \times \vec{r}_2|}$  ialah vektor unit arah halaju yang teraruh. Persamaan di atas ialah persamaan asas yang digunakan bagi menentukan halaju teraruh oleh sistem vektor ladam-kuda dalam kaedah kekisi vorteks.

Bagi pengiraan halaju teraruh oleh sebuah vorteks ladam-kuda pada sebarang titik dalam suatu ruang tiga dimensi iaitu dalam arah x, y, z (Rajah 5), rajah ini adalah dianggapkan sebagai sebuah panel ke-n pada sebuah sayap.

Segmen AB adalah bahagian batasan vorteks satu sistem vorteks ladam-kuda yang bertindan dengan garis sukuan panel ke-n. Garis daya hela vorteks ekor adalah selari dengan paksi-x. Paduan vektor halaju teraruh ditentukan dengan mengambilkira kesan setiap elemen.



Rajah 5 Sistem vorteks ladam-kuda

Halaju yang teraruh oleh vorteks batas, segmen  $\overline{AB}$  :

$$\vec{r}_o = \overline{AB} = (x_{2n} - x_{1n})\hat{i} + (y_{2n} - y_{1n})\hat{j} + (z_{2n} - z_{1n})\hat{k} \quad (8)$$

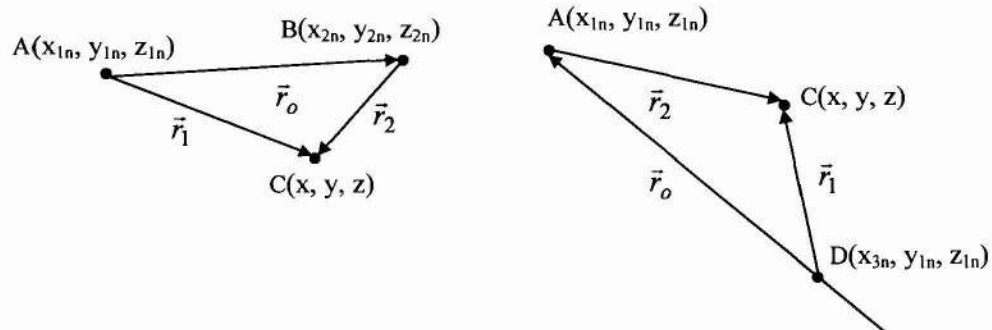
$$\vec{r}_1 = (x - x_{1n})\hat{i} + (y - y_{1n})\hat{j} + (z - z_{1n})\hat{k} \quad (9)$$

$$\vec{r}_2 = (x - x_{2n})\hat{i} + (y - y_{2n})\hat{j} + (z - z_{2n})\hat{k} \quad (10)$$

Dengan menggunakan persamaan (7) halaju yang teraruh oleh filamen vorteks pada sesuatu titik katakan C(x, y, z) boleh ditentukan (rujuk Rajah 6).

Didapati :

$$\vec{V}_{AB} = \frac{\Gamma_n}{4\pi} \{Fac1_{AB}\} \{Fac2_{AB}\} \quad (11)$$



Rajah 6 Elemen vektor bagi pengiraan halaju teraruh

Dengan,

$$\{Fac1_{AB}\} = \frac{\vec{r}_1 \times \vec{r}_2}{|\vec{r}_1 \times \vec{r}_2|^2}$$



$$= \frac{\begin{Bmatrix} [(y - y_{1n})(z - z_{2n}) - (y - y_{2n})(z - z_{1n})] \hat{i} - \\ [(x - x_{1n})(z - z_{2n}) - (x - x_{2n})(z - z_{1n})] \hat{j} + \\ [(x - x_{1n})(y - y_{2n}) - (x - x_{2n})(y - y_{1n})] \hat{k} \end{Bmatrix}}{\begin{Bmatrix} [(y - y_{1n})(z - z_{2n}) - (y - y_{2n})(z - z_{1n})]^2 + \\ [(x - x_{1n})(z - z_{2n}) - (x - x_{2n})(z - z_{1n})]^2 + \\ [(x - x_{1n})(y - y_{2n}) - (x - x_{2n})(y - y_{1n})]^2 \end{Bmatrix}}$$

dan

$$\{Fac2_{AB}\} = \left( \vec{r}_o \cdot \frac{\vec{r}_1}{r_1} - \vec{r}_o \cdot \frac{\vec{r}_2}{r_2} \right)$$

$$= \left\{ \frac{\begin{Bmatrix} [(x_{2n} - x_{1n})(x - x_{1n}) + (y_{2n} - y_{1n})(y - y_{1n}) + (z_{2n} - z_{1n})(z - z_{1n})] \\ \sqrt{(x - x_{1n})^2 + (y - y_{1n})^2 + (z - z_{1n})^2} \end{Bmatrix}}{\begin{Bmatrix} [(x_{2n} - x_{1n})(x - x_{2n}) + (y_{2n} - y_{1n})(y - y_{2n}) + (z_{2n} - z_{1n})(z - z_{2n})] \\ \sqrt{(x - x_{2n})^2 + (y - y_{2n})^2 + (z - z_{2n})^2} \end{Bmatrix}} \right\}$$

Halaju yang teraruh oleh filamen vorteks, segmen A dan B menuju infiniti.

Untuk bahagian ini diandaikan bahawa terdapat satu titik yang membatasi garis A ke  $\infty$  iaitu titik D (Rajah 6). Didapati:

$$\vec{r}_o = \vec{DA} = (x_{1n} - x_{3n}) \hat{i} \quad (12)$$

$$\vec{r}_1 = (x - x_{3n}) \hat{i} + (y - y_{1n}) \hat{j} + (z - z_{1n}) \hat{k} \quad (13)$$

$$\vec{r}_2 = (x - x_{1n}) \hat{i} + (y - y_{1n}) \hat{j} + (z - z_{1n}) \hat{k} \quad (14)$$

Maka halaju yang teraruh ialah:

$$\vec{V}_{AD} = \frac{\Gamma_n}{4\pi} \{Fac1_{AD}\} \{Fac2_{AD}\} \quad (15)$$

dengan,

$$\{Fac1_{AD}\} = \frac{(z - z_{1n}) \hat{j} + (y_{1n} - y) \hat{k}}{[(z - z_{1n})^2 + (y_{1n} - y)^2] (x_{3n} - x_{1n})}$$

dan

$$\{Fac2_{AD}\} = (x_{3n} - x_{1n}) \left\{ \frac{\frac{x_{3n} - x}{\sqrt{(x - x_{3n})^2 + (y - y_{1n})^2 + (z - z_{1n})^2}} + \frac{x - x_{1n}}{\sqrt{(x - x_{1n})^2 + (y - y_{1n})^2 + (z - z_{1n})^2}}}{\sqrt{(x - x_{1n})^2 + (y - y_{1n})^2 + (z - z_{1n})^2}} \right\}$$

Bagi filamen dari A ke  $\infty$ , iaitu dengan anggapan bahawa  $x_3$  menuju  $\infty$ , maka sebutan pertama bagi  $\{Fac2_{AD}\}$  adalah 1.0. Oleh itu didapati bahawa halaju yang teraruh adalah seperti berikut:

$$\vec{V}_{A\infty} = \frac{\Gamma_n}{4\pi} \left\{ \frac{(z - z_{1n})\hat{j} + (y_{1n} - y)\hat{k}}{[(z - z_{1n})^2 + (y_{1n} - y)^2]} \right\} \left[ 1 + \frac{x - x_{1n}}{\sqrt{(x - x_{1n})^2 + (y - y_{1n})^2 + (z - z_{1n})^2}} \right] \quad (16)$$

Untuk halaju yang teraruh oleh filamen vorteks dari B menuju  $\infty$  cara yang sama seperti di atas dilakukan. Dengan itu diperolehi:

$$\vec{V}_{B\infty} = \frac{\Gamma_n}{4\pi} \left\{ \frac{(z - z_{2n})\hat{j} + (y_{2n} - y)\hat{k}}{[(z - z_{2n})^2 + (y_{2n} - y)^2]} \right\} \left[ 1 + \frac{x - x_{2n}}{\sqrt{(x - x_{2n})^2 + (y - y_{2n})^2 + (z - z_{2n})^2}} \right] \quad (17)$$

Jumlah halaju yang teraruh disebabkan oleh satu sistem ladam-kuda pada sesuatu titik  $(x, y, z)$  yang mewakili satu panel (ke-n) adalah penjumlahan bagi  $\vec{V}_{AB}$ ,  $\vec{V}_{A\infty}$  dan  $\vec{V}_{B\infty}$

## 2.0 PENGGUNAAN KAEDAH KEKISI VORTEKS

### 2.1 Anggapan Yang Dibuat

Satu contoh bagaimana penggunaan teori dan persamaan-persamaan yang diterangkan sebelum ini ditunjukkan. Sebelum itu akan dijelaskan dahulu anggapan-anggapan yang dibuat berkaitan contoh yang akan ditunjukkan selepas ini.

Anggapan yang dibuat ialah bahawa sayap berada dalam aliran tak boleh mampat, bahawa aliran adalah subsonik dan adalah simetri. Anggapan seterusnya

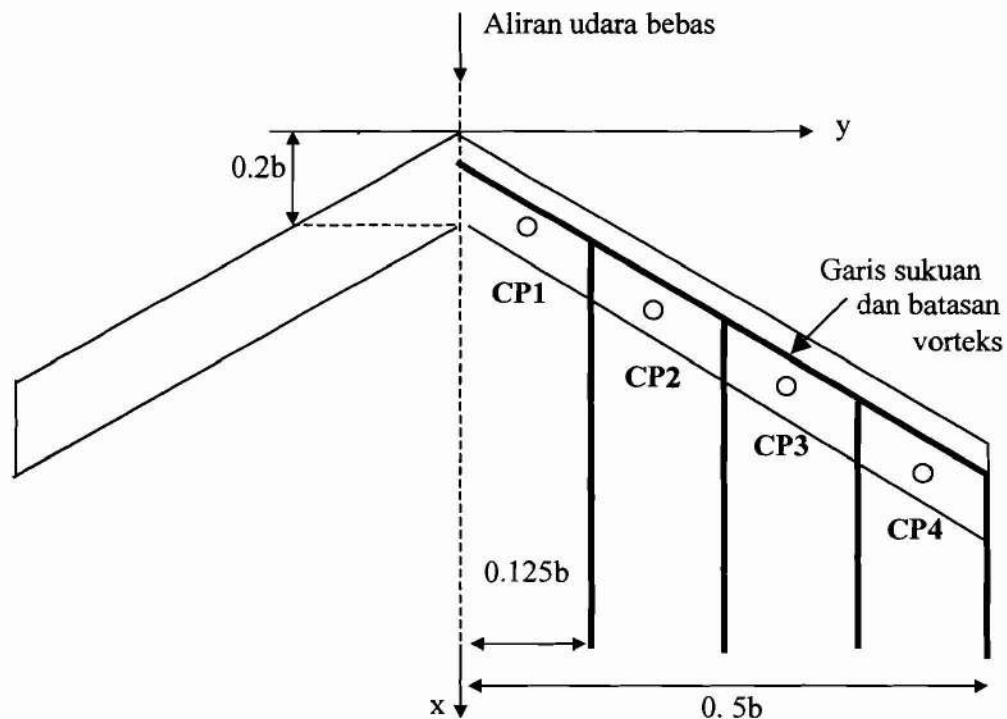
ialah bahawa aliran adalah mantap tidak likat, bendalir unggul, dua dimensi dan bahawa sudut serang adalah kecil.

Selain itu konfigurasi sayap hanya terbatas kepada sudut sapu belakang yang malar bagi bahagian hadapan dan belakang sayap, sayap tidak mempunyai sudut dihedral dan bahawa keratan rentas adalah simetri (yakni bahawa sayap adalah suatu plat rata. Kajian hanya melibatkan sebelah sayap sahaja.

Kajian ini juga akan mengabaikan kesan-kesan lain seperti kesan permukaan bumi.

## 2.2 Tatarajah Sayap

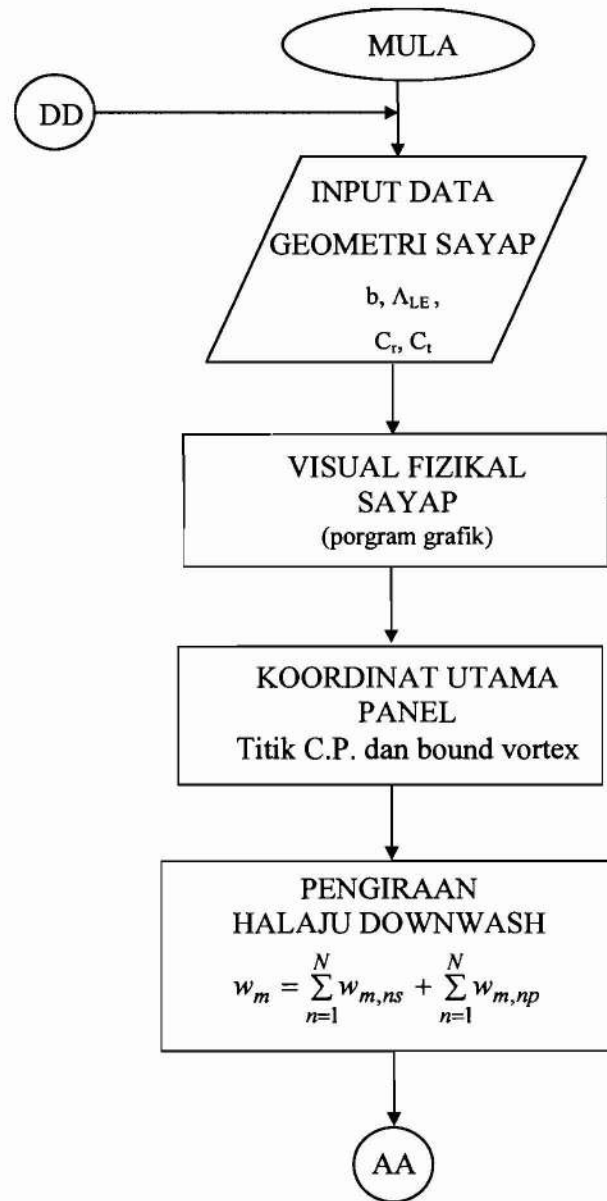
Bentuk sayap yang dianalisis ciri aerodinamiknya adalah seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 7. Aliran udara yang mengalir adalah selari dengan paksi-y. Bilangan panel yang digunakan adalah sebanyak 4 buah.



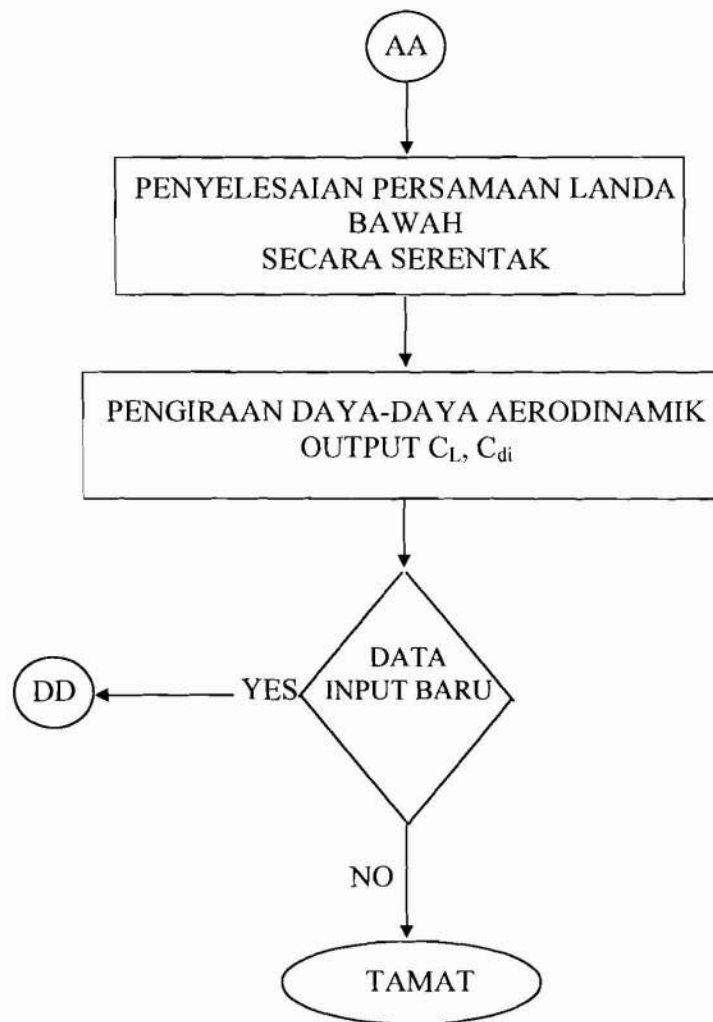
Rajah 7 Konfigurasi sayap

### 2.3 Aturcara Perisian

Di bawah ini ditunjukkan carta alir atur cara keseluruhan bagi perisian yang telah dibangunkan menggunakan kaedah kekisi vorteks bagi menentukan ciri aerodinamik bentuk jasad sembarangan yang diberi nama VORLATTE.



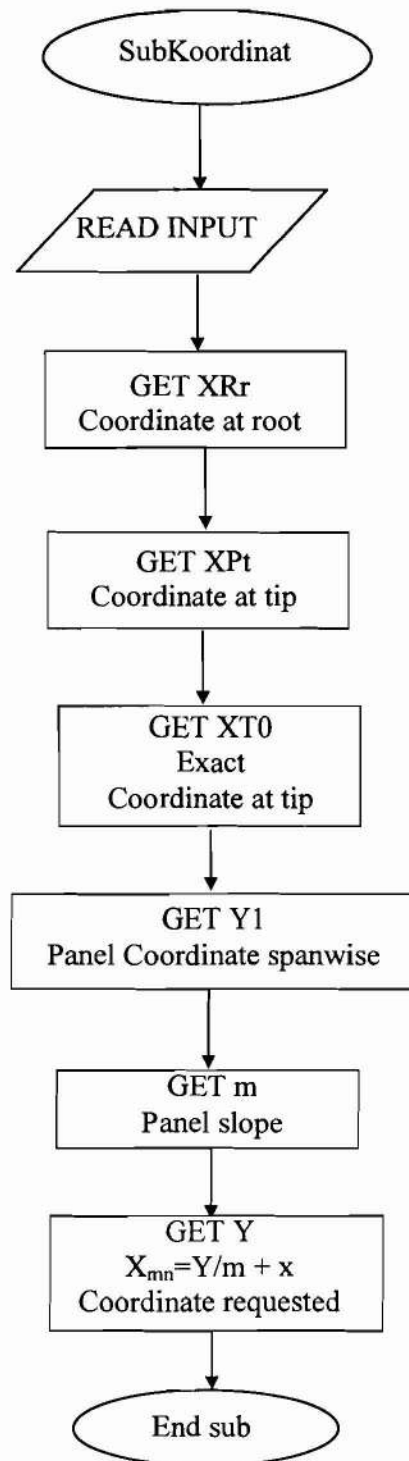
Rajah 8 Carta Alir Utama



Rajah 8 Carta Alir Utama (*samb.*)

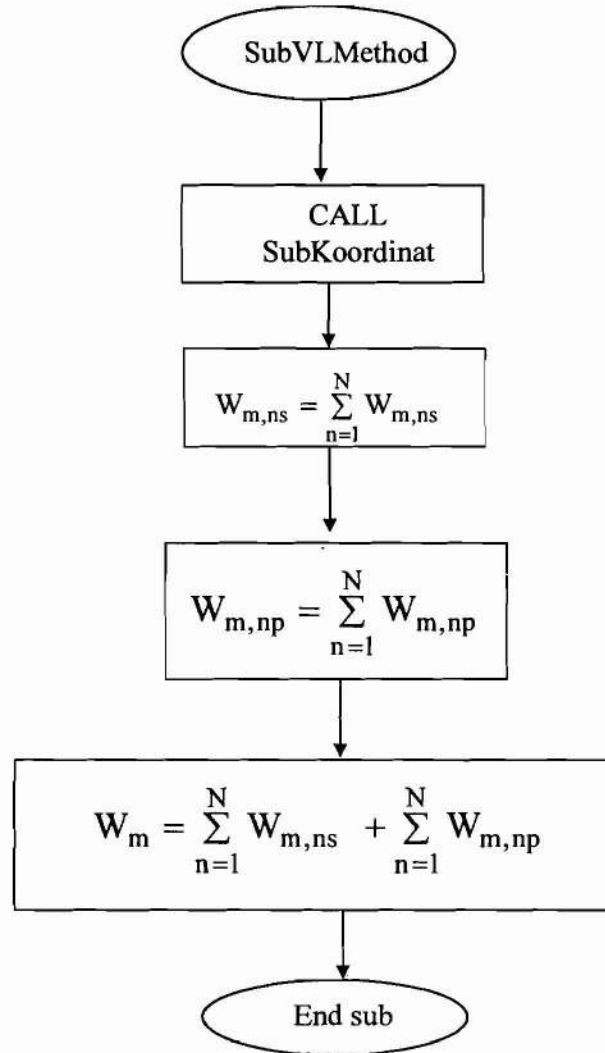
Rajah 8 menunjukkan carta alir program utama perisian VORLATTE. Pada peringkat ini, data-data seperti bidang sayap, sudut sapu belakang, rentang sayap dan rentas sayap perlu dimasukkan.

Perisian ini juga terdiri daripada beberapa sub rutin yang perlu digunakan bersama seperti dalam membantu menyelesaikan matriks yang diterbitkan untuk menyelesaikan persamaan serentak.



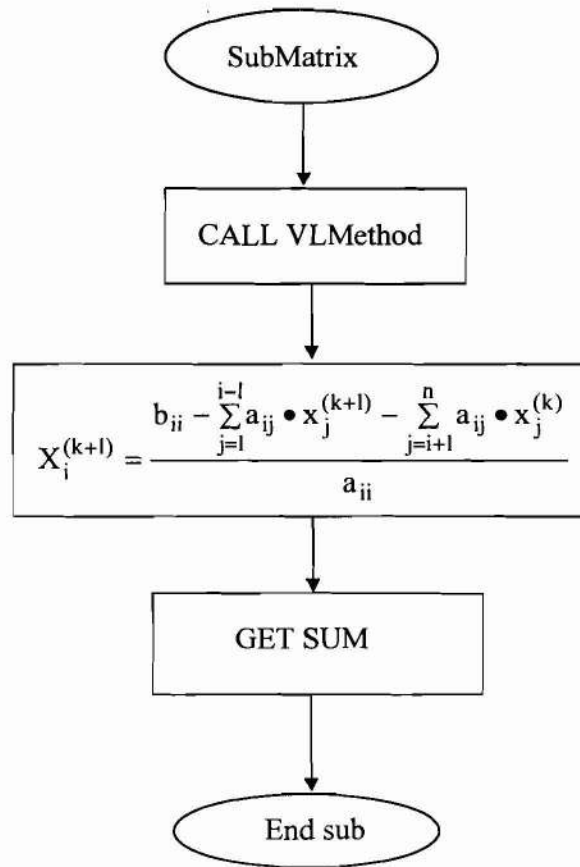
Rajah 9 Carta Alir SubKoordinat

Rajah 9 menunjukkan carta alir bagi pengiraan untuk menentukan koordinat yang diperlukan bagi setiap panel dan titik kawalan ke atas keseluruhan sayap.



Rajah 10 Carta Alir SubVLMMethod

Rajah 10, 11 dan 12 masing-masing menunjukkan sub rutin bagi menentukan persamaan lurus untuk setiap titik kawalan, penyelesaian persamaan-persamaan menggunakan kaedah penyelesaian matriks yang berdasarkan kepada kaedah berangka Gauss-Seidel, dan paparan hasil keputusan perisian seperti ciri-ciri aerodinamik sayap.



Rajah 11 Carta Alir SubMatrix

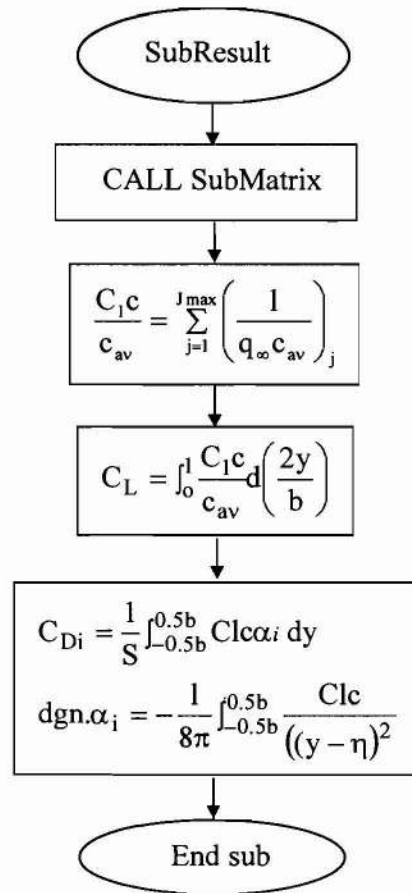
### 3.0 KEPUTUSAN

Data eksperimen yang diperolehi dari ujikaji oleh Margason [5] digunakan sebagai perbandingan dengan perisian, yang mana mengambil data tatarajah bentuk plan sayap seperti berikut :

Sudut pinggir hadapan,  $\Lambda_{LE} = 45$  darjah  
Nisbah bidang, AR = 5  
Nisbah tirus = Seragam  
Rentang sayap = b

Data 1 Data sayap rujukan





Rajah 12 Carta Alir SubResult

Merujuk kepada Data 1, hasil ujikaji yang dinyatakan telah diplotkan dalam Rajah 13. Dengan data tatarajah sayap yang sama, perisian VORLATTE dengan mengambil 4 x 3 kekisi telah menghasilkan keputusan dan dilakarkan di atas graf yang sama. Selain itu kiraan manual juga dibuat bagi 4 x 1 kekisi dan hasil kiraan ini dilakarkan di dalam Rajah 13.

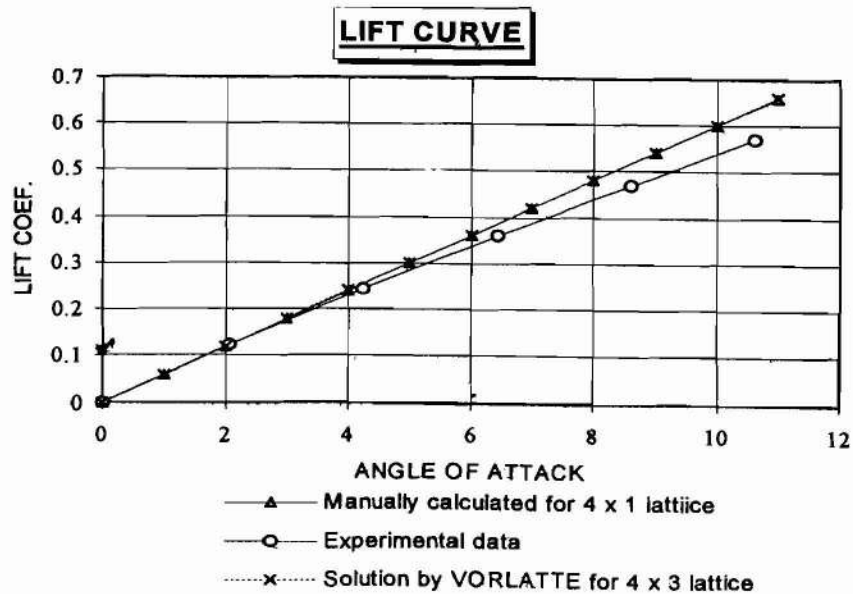
Nilai pekali daya angkat bagi ketiga-tiga kaedah yang dinyatakan ditunjukkan di dalam Jadual 1.

Merujuk kepada Rajah 13, perbandingan hasil perisian VORLATTE dengan data ujikaji menunjukkan bahawa kaedah kekisi vorteks yang digunakan oleh VORLATTE dapat menganggarkan nilai pekali daya angkat dengan baik. Ketepatan ini akan meningkat apabila bilangan kekisi yang diambil ditingkatkan.

**Jadual 1** Bacaan pekali daya angkat.

AOA (deg)	$C_L$ (VORLATTE)	$C_L$ (manual)
0	0	0
3	0.180	0.179759
6	0.360	0.359518
9	0.540	0.539277
12	0.719	0.719035

Namun begitu, perisian ini tidak sesuai untuk digunakan bagi menganggar ciri-ciri aerodinamik sayap pada sudut serang yang besar. Dapat diperhatikan bahawa graf yang diplotkan menggunakan hasil perisian semakin besar peratus perbezaan dengan meningkatnya sudut serang.



Rajah 13 Perbandingan keputusan perisian dengan data ujikaji

Berdasarkan perbandingan kaedah-kaedah yang digunakan adalah memuaskan apabila graf hasil perisian menghampiri graf data ujikaji. Dapat dilihat pada sudut serang sehingga 11 darjah, peratus perbezaan masih di bawah 10%.

#### **4.0 PERBINCANGAN KEPUTUSAN**

Kaedah kekisi vorteks yang digunakan oleh VORLATTE telah dibuktikan kemampuannya. Didapati dari Rajah 13 dengan menggunakan VORLATTE anggaran ciri aerodinamik menepati data ujikaji. Namun begitu, perlu dibincangkan di sini perkara-perkara yang mempengaruhi ketepatan dan had-had penggunaan perisian yang dibangunkan.

Perisian ini ditulis dengan menghadkan bahawa sayap yang dimodelkan dilihat secara dua dimensi. Lebih tepat lagi koordinat paksi – z dianggap sifar. Ini bermakna bahawa hanya sayap berplat rata sahaja yang sah untuk dikaji.

Walaupun perisian ini tidak membolehkan pengguna menilai ciri sebenar sesuatu bentuk sayap, namun dalam sesuatu proses mereka bentuk terutama pada peringkat konsep, ia sebenarnya mampu memberi gambaran tentang ciri aerodinamik dengan agak jelas. Contoh yang paling jelas ialah perbezaan kecerunan pekali daya angkat (graf lengkung daya angkat) bentuk plan sayap yang menggunakan sayap sapu belakang berbanding sayap berbentuk segiempat tepat.

Selain ciri aerodinamik, perisian ini berjaya menjelaskan suatu keadaan bagaimana dengan meningkatnya sudut serang, nilai pekali daya angkat akan menuju nilai yang maksimum dan akhirnya tegun akan berlaku.

**Jadual 2** Kekuatan vorteks pada panel-panel, kekisi 4 x 3

$\Gamma_1 = 0.654$	$\Gamma_2 = 0.71750$	$\Gamma_3 = 0.72880$	$\Gamma_4 = 0.66820$
$\Gamma_5 = 0.28370$	$\Gamma_6 = 0.28790$	$\Gamma_7 = 0.28260$	$\Gamma_8 = 0.23090$
$\Gamma_9 = 0.15160$	$\Gamma_{10} = 0.14390$	$\Gamma_{11} = 0.13500$	$\Gamma_{12} = 0.08980$

Jadual 2 menunjukkan data kekuatan vorteks untuk tatarajah sayap sapu belakang yang diambil dari Data 1. Dengan menggunakan teorem Kutta-Joukowski, daya angkat bagi setiap panel boleh ditentukan. Apa yang ingin ditunjukkan di sini ialah taburan daya angkat di sepanjang separuh rentang sayap.

Dapat diperhatikan bahawa daya angkat semakin meningkat menghala ke hujung sayap. Ini menyebabkan pemisahan lapisan sempadan mula terjadi dan ditambah dengan pengurangan halaju elemen dalam lapisan sempadan yang

dianjukkan oleh komponen halaju yang menghala ke hujung sayap. Akhirnya lapisan sempadan menjadi semakin tebal pada penghujung sayap.

Keadaan ini apabila berlaku pada sudut serang yang besar menyebabkan pemisahan mula terjadi di bahagian sedutan menghampiri hujung sayap dan akhirnya tegun akan berlaku.

## **5.0 KESIMPULAN**

Objektif kertas kerja ini untuk menerangkan pembangunan sebuah perisian yang menggunakan kaedah kekisi vorteks bagi menentukan kekuatan vorteks yang teraruh pada permukaan jasad dan seterusnya mendapatkan ciri-ciri aerodinamik sesuatu bentuk jasad sembarangan adalah tercapai.

Perisian VORLATTE dapat menganggarkan pekali daya angkat sayap dengan baik di mana peratus perbezaan keputusan perisian dengan keputusan ujikaji adalah kurang daripada sepuluh peratus.

## **RUJUKAN**

1. Hewitt, B.L., and Illingworth C.R., 1976, '*Computational Methods and Problems in Aeronautical Fluid Dynamic*', Academic Press Inc., New York.
2. Moran, J., 1974 '*An Introduction to Theoretical dan Computational Aerodynamic*', John Wiley & Son Inc., Canada.
3. Anderson, J.D., 1991 '*Fundamentals of Aerodynamics*', McGraw-Hill International, USA.
4. Katz, J. and Plotkin, A., 1991 '*Low Speed Aerodynamic from Wing Theory to Panel Method*', McGraw-Hill International, USA.
5. Smith, M.L. and Bertin John J, 1979 '*Aerodynamic for Engineers*' Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, N. J., New Jersey, USA.