

KOMPUTASI AERODINAMIK KENDARAAN BERMOTOR

Harijono Djojodihardjo. 1)

RINGKASAN.

Suatu metoda numerik untuk menghitung distribusi tekanan pada badan kendaraan bermotor yang dianggap mengalami gerak potensial diuraikan sebagai dasar penyusunan program komputer dan untuk dipergunakan dalam kaji parametrik perancangan aerodinamik kendaraan bermotor.

Untuk meninjau keberlakuannya, metoda ini diterapkan untuk kasus dua dimensi sederhana. Demikian pula diuraikan hasil tiga dimensi yang telah diperoleh dalam literatur untuk metoda yang hampir serupa.

1. PENDAHULUAN.

Metoda komputasi aerodinamika untuk benda yang bergerak dalam aliran potensial, baik tanpa maupun dengan gaya angkat, akhir-akhir ini telah dikembangkan (1, 2, 3, 4, 5). Penerapan untuk kendaraan bermotor telah dilakukan oleh Stafford (6, 7), dan sampai taraf tertentu, telah dapat memberikan hasil yang cukup baik. Dalam pustaka (8) (9) dan (10) telah diuraikan penggunaan terowongan angin untuk menentukan karakteristik aerodinamika kendaraan bermotor, yang merupakan metoda yang tidak dapat dilewatkan bila kita ingin mempelajari secara parametrik karakteristik aerodinamika badan kendaraan bermotor sebelum dibuat. Dengan kemajuan metoda komputasi aerodinamika, kaji parametrik karakteristik aerodinamik badan kendaraan bermotor, sampai pada taraf tertentu (khususnya mengetahui distribusi tahanan pada permukaan yang tidak mengalami pemisahan aliran) dapat pula dilakukan secara numerik, walaupun terbatas.

Di dalam tulisan ini, akan dilakukan tinjauan dan analisa terhadap penerapan metoda komputasi aerodinamik untuk kendaraan bermotor, dengan tujuan meletakkan dasar penyusunan program komputer untuk dipergunakan dalam perancangan aerodinamik dari kendaraan bermotor.

Medan aliran disekitar kendaraan, termasuk ulakan (wake) yang timbul di belakang kendaraan, dianggap sebagai aliran inkompresibel tak viskos (atau aliran potensial). Bila tidak terjadi gaya angkat yang cukup berarti, maka masalah yang dijumpai merupakan masalah aliran potensial tanpa gaya angkat (non-lifting potential flow), yang formulasi matematikanya sangat erat kaitannya dengan gejala fisik yang terjadi. Pada aliran yang menimbulkan gaya angkat (lifting flows), gejala aliran yang

sebenarnya timbul karena viskositas, didekati dengan model matematik yang bertolak dari aliran tak viskos.

Oleh karena itu, dalam analisa pada tahap ini, akan ditinjau lebih dahulu persoalan dua dimensi, agar beberapa masalah pemodelan yang fundamental sifatnya dapat dipahami dan dipecahkan. Pada tahap selanjutnya, metoda yang diuraikan disini akan diperluas agar mencakup persoalan tiga dimensi yang sebenarnya.

2. FORMULASI MASALAH.

Persoalan yang ditinjau adalah aliran inkompresibel tak viskos dan stasioner dari udara (atau fluida) di R' terhadap suatu benda (kendaraan) dengan permukaan terbasahi (permukaan batas) S . Pada umumnya permukaan benda dapat dinyatakan dengan :

$$S(x) = 0 \quad (1)$$

sedangkan ulakan yang mengikuti benda dapat dinyatakan oleh suatu permukaan silinder yang berpangkal pada bagian belakang kendaraan, dan dinyatakan oleh :

$$S_w(x) = 0 \quad (2)$$

Potensial kecepatan untuk aliran ini memenuhi persamaan Laplace, dan syarat batas : 1). aliran tak terganggu di tak terhingga, 2). syarat kinematik bahwa aliran menyinggung permukaan benda, 3). melintasi permukaan ulakan, tidak terdapat beda tekanan dan ulakan merupakan permukaan arus dan 4). kondisi Kutta. Kondisi Kutta yang dipergunakan disini adalah bahwa pada garis pertemuan antara permukaan badan kendaraan $S(x)$

1) Laboratorium Aero & Hidrodinamika Institut Teknologi Bandung.

dan permukaan ulakan $S_W(\underline{x})$, kecepatan fluida terbatas (finite).

Dapat ditunjukkan, bahwa persamaan kerja yang berlaku untuk potensial kecepatan, dapat dinyatakan sebagai :

$$\phi(\underline{x}) = \frac{1}{4\pi} \iint_S \sigma(\underline{\xi}) \frac{\partial^2}{\partial n \partial \nu(\underline{\xi})} \left[\frac{1}{R(\underline{x}, \underline{\xi})} \right] dS + \frac{1}{4\pi} \iint_{S_W} \Delta\phi_W(\underline{\xi}) \frac{\partial^2}{\partial n \partial \nu(\underline{\xi})} \left[\frac{1}{R(\underline{x}, \underline{\xi})} \right] dS \quad (3)$$

dimana :

- σ — kekuatan doublet potensial
- $\Delta\phi_W$ — kekuatan selisih doublet potensial pada ulakan
- ν — vektor normal pada titik sumber $\underline{\xi}$
- R — $|\underline{x} - \underline{\xi}|$, dimana $P(\underline{x})$ adalah titik medan.

Kecepatan pada tiap titik medan (titik dalam medan aliran) dinyatakan oleh :

$$Q = \underline{i} U/U_0 + \nabla \phi \quad (4)$$

dimana U adalah kecepatan aliran bebas, yang diambil sejajar dengan sumbu x . Syarat batas kinematik pada permukaan benda (kendaraan) dapat dinyatakan dengan (lihat pustaka 2).

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = -U/U_0 \underline{i} \cdot \underline{n} \text{ pada } S(\underline{x}) = 0 \quad (5)$$

Dengan memasukkan persamaan (3) dalam (5), diperoleh :

$$\begin{aligned} & \frac{1}{4\pi} \iint_S \sigma(\underline{\xi}) \frac{\partial^2}{\partial n \partial \nu} \left[\frac{1}{R(\underline{x}, \underline{\xi})} \right] dS + \\ & \frac{1}{4\pi} \iint_{S_W} \Delta\phi_W \frac{\partial^2}{\partial n \partial \nu} \left[\frac{1}{R(\underline{x}, \underline{\xi})} \right] dS \\ & = -U/U_0 \underline{i} \cdot \underline{n} \end{aligned} \quad (6)$$

yang merupakan persamaan integral Fredholm yang singular jenis pertama, dan merupakan persamaan dasar yang berlaku untuk medan potensial kecepatan dari aliran.

3. DASAR PEMECAHAN PERSOALAN.

Pemecahan persamaan (6) secara analitik untuk bentuk kendaraan yang umum sulit diperoleh, dan oleh karena itu dilakukan pendekatan dengan metoda numerik. Untuk itu permukaan kendaraan didekati sebagai kumpulan panil-panil, dan pada tiap panil diletakkan distribusi singularitas (sumber, dipol atau vorteks) yang konstan atau mengikuti aturan tertentu (bervariasi linier atau orde lebih tinggi).

Bila permukaan kendaraan dibagi menjadi n buah elemen, maka persamaan (6) dapat diubah menjadi satu sistem persamaan simultan, yang secara sederhana dinyatakan oleh :

$$\sum_{j=1}^n S_j A_{ij} = -V_i \cdot n_i \quad (7)$$

dimana :

- S_j — kekuatan singularitas pada panil j .
- V_i — vektor kecepatan aliran pada panil i .
- n_i — satuan vektor normal pada panil i .
- A_{ij} — koefisien pengaruh : kecepatan induksi pada panil i akibat singularitas pada panil j sebesar satu satuan.

Suku kedua pada ruas kiri pada persamaan (6) dalam hal ini sudah dinyatakan sebagai kombinasi dari kekuatan singularitas pada panil permukaan, yang akan dijelaskan lebih lanjut nanti.

Dengan memecahkan persamaan (7), besarnya singularitas pada panil-panil dapat diketemukan, sehingga medan kecepatan aliran dapat ditentukan. Selanjutnya dengan menggunakan persamaan Bernoulli, medan tahanan disekitar kendaraan (pada permukaan kendaraan) dapat ditentukan. Dengan demikian tahanan aerodinamik kendaraan akibat tekanan dapat diramalkan, khususnya sebagai pendekatan pertama sebelum analisa lapisan batas diterapkan. Tahanan gesekan pada kendaraan harus ditentukan dengan menerapkan analisa lapisan batas.

PENGARUH ULAKAN (JEJAK, WAKE)

4. DAN KONDISI KUTTA.

Untuk aliran stasioner, ulakan terdiri atas vorteks ekor (trailing vortices) yang arahnya mengikuti garis arus dan besarnya sama dengan turunan dalam arah melintang (spanwise) dari sirkulasi seksional dari badan kendaraan. Selain itu, pada tepi buritan benda, berlaku Kondisi Kutta.

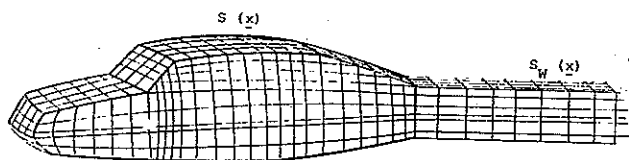
Kondisi Kutta yang merupakan suatu hipotesa berdasarkan persyaratan fisik yang mantik, menyatakan bahwa pada tepi buritan, kecepatan fluida harus terbatas (finite). Selanjutnya, berdasarkan penalaran fisik, pada pustaka 1 ditunjukkan bahwa hal ini berarti bahwa kekuatan selisih doublet potensial pada ulakan ditepi buritan ($\Delta\phi_{T.E}$) sama dengan selisih doublet pada kedua permukaan benda yang bertemu di tepi buritan jadi $\Delta\phi_{T.E} = \tau_{T.E} \text{ atas} - \tau_{T.E} \text{ bawah}$:

(8)

Dengan demikian, ada hubungan antara distribusi $\Delta\phi_W$ pada permukaan ulakan dengan distribusi σ pada panil-panil permukaan badan kendaraan.

5. REPRESENTASI GEOMETRI.

Geometri permukaan $S(x)$ dari badan kendaraan didekati dengan kumpulan panil, yang secara umum berbentuk kwadrilateral bidang yang menyinggung permukaan badan kendaraan pada tiap titik berat kwadrilateral. Prosedur pembagian permukaan kendaraan dalam panil mengikuti metoda Hess, yang diuraikan secara terperinci pada pustaka 3.



Gambar 1. Representasi badan kendaraan dan ulakan dalam panil dobet.

Medan aliran selanjutnya diwakili oleh distribusi dobet pada panil kwadrilateral pada permukaan badan kendaraan $S(x)$ dan pada permukaan ulakan $S_w(x)$. Satu bentuk yang paling sederhana dari distribusi dobet pada tiap panil adalah distribusi seragam : untuk tiap panil, dobet dianggap terbagi merata. Titik berat panil diambil sebagai titik kontrol. Pada permukaan ulakan, dobet mempunyai harga yang tetap pada panil yang terletak pada satu garis arus. Jadi harga dobet pada panil ulakan yang bersebelahan dengan panil permukaan badan kendaraan pada tepi belakang menentukan harga dobet pada panil ulakan berikutnya yang terletak pada satu garis arus yang sama. Variasi harga dobet pada panil ulakan hanya terjadi secara melintang. Hal ini berarti bahwa permukaan ulakan terdiri atas vorteks ekor (trailing vortices) yang merupakan vektor yang berimpit dengan garis arus.

6. MASALAH KHUSUS.

Dalam pemodelan aliran yang diuraikan disini, beberapa masalah perlu diperhatikan :

- adanya bidang simetri (setangkup); adanya bidang simetri akan menyederhanakan analisa, seperti diuraikan pada pustaka 2, yaitu memperkecil jumlah panil nyata, karena dua panil yang simetri diperlakukan sebagai satu panil (dalam perhitungan sifat geometriknnya, koefisien pengaruh, dsb).
- adanya permukaan tanah (ground plane), diperhitungkan seperti biasanya dalam persoalan

aliran potential, dengan menganggap permukaan tanah sebagai cermin atau bidang simetri. Pada jarak yang sama terhadap permukaan tanah, terdapat bentuk cermin dari badan kendaraan. Syarat batas yang harus dipenuhi pada permukaan tanah adalah bahwa kecepatan normal pada tiap titiknya sama dengan nol (permukaan tanah merupakan bidang arus).

- pada pemodelan yang sederhana, pemisahan aliran hanya berlangsung pada buritan (tepi belakang) kendaraan, yang menghasilkan ulakan yang berbentuk selubung vorteks. Untuk aliran stasioner, selubung vorteks ini berupa kumpulan vorteks ekor (trailing vortices) yang berimpit dengan garis arus.

Adanya penonjolan pada permukaan badan kendaraan, selama tidak menghasilkan pemisahan aliran tambahan, dapat diperkirakan tidak akan mempersulit pemecahan. Tetapi bila pemisahan aliran terjadi pada banyak lokasi, dengan menilik hasil yang diperoleh stafford (6, 7), diperlukan pengembangan lebih lanjut.

7. ALGORITMA PENYELESAIAN PERSOALAN.

Untuk memecahkan persamaan (6), atau dalam bentuk diskrit persamaan (7), untuk memperoleh medan aliran (dalam bentuk kecepatan atau tekanan) sekitar badan kendaraan yang bentuknya sebarang, secara garis besar dilakukan prosedur berikut :

- program geometri : permukaan badan kendaraan dan ulakan dibagi dalam panil, dan koordinat serta sifat geometrik panil kwadrilateral luas, vektor normal, momen inersia, letak titik berat, dsb).
- program koefisien pengaruh : matriks A_{ij} , yaitu kecepatan imbas pada titik atur (titik kontrol, titik medan) akibat distribusi singularitas pada panil sumber sebesar satu satuan, ditetapkan. Untuk itu lebih dahulu koordinat titik atur dinyatakan dalam sistem koordinat elemen sumber.
- program persamaan simultan (atau inversi matriks) : dalam program ini, persamaan (7) dipecahkan untuk memperoleh distribusi singularitas pada tiap panil. Distribusi singularitas ini menentukan medan aliran.
- program perhitungan karakteristik aerodinamik kendaraan : dengan diperolehnya distribusi singularitas pada permukaan badan kendaraan dan ulakannya, kecepatan fluida pada tiap titik atur

dapat dihitung, yaitu dari persamaan (4). Dengan menggunakan persamaan Bernoulli, maka distribusi tekanan pada permukaan kendaraan dapat dihitung dalam bentuk koefisien tekanan.

Dengan diketahuinya koefisien tekanan, besarnya gaya angkat aerodinamika kendaraan, yang tidak merupakan kontribusi gesekan, dapat ditetapkan.

Hasil perhitungan yang diperoleh pada tahap c, dapat dipergunakan dalam analisa dan perhitungan lapisan batas. Hasil perhitungan lapisan batas kemudian dapat dipergunakan untuk memberikan koreksi dalam perhitungan aliran potensial selanjutnya. Besarnya C_D dan C_L selanjutnya dapat diperkirakan (dihitung) dengan lebih teliti.

8. PENGEMBANGAN PROGRAM : CONTOH DUA DIMENSI.

Berikut ini akan diuraikan penerapan konsep di atas untuk kasus sederhana, yaitu aliran dua dimensi, sebagai ilustrasi ataupun guna pengembangan program tiga dimensi selanjutnya :

a. Potensial titik diopl (doblet) :

$$\phi = - \frac{\mu}{2\pi} \frac{\cos \theta}{r} = - \frac{\mu}{2\pi} \frac{x}{x^2 + y^2} \quad (9)$$

Untuk distribusi doublet dalam satu elemen garis :

$$d\phi = - \frac{d\mu}{2\pi} \frac{x - \xi}{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2} \quad (10)$$

dimana $R = (x - \xi)$, yaitu vektor jarak antara titik sumber $Q (\xi, \eta)$ dan titik medan $P (x, y)$. Kecepatan pada titik P akibat elemen doublet pada Q dinyatakan oleh :

$$u_{ix} = \frac{d\mu}{2\pi} \frac{(x - \xi)^2 - (y - \eta)^2}{[(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2]^2} i_x \quad (11)$$

$$v_{iy} = \frac{d\mu}{2\pi} \frac{2(x - \xi)(y - \eta)}{[(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2]^2} i_y$$

Koefisien pengaruh A_{ij} , yaitu besarnya kecepatan imbas pada titik medan $P_j (x, y)$ akibat distribusi doublet pada elemen i dengan panjang a dinyatakan oleh :

$$A_{ij} = \int_2^a \frac{[(x - \xi)^2 - y^2] i_x + 2(x - \xi) y i_y}{[(x - \xi)^2 + y^2]^2} d\xi - \frac{a}{2} \quad (12)$$

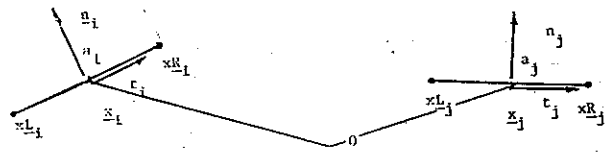
yang sudah dinyatakan dalam sistem koordinat titik sumber (ξ, η) yang berpangkal di Q_i .

Arah kecepatan imbas :

$$\frac{v}{u} = \frac{2(x - \xi)(y - \eta)}{(x - \xi)^2 - (y - \eta)^2} \quad (13)$$

b. Program geometri :

Tinjau elemen medan dengan titik berat x_j dan elemen sumber dengan titik x_i ; n dan t adalah satuan vektor normal dan



Dalam sistem koordinat sentral :

$$t_i = \frac{x_{R_{ix}} - x_{L_{ix}}}{[(x_{R_{ix}} - x_{L_{ix}})^2 + (x_{R_{iy}} - x_{L_{iy}})^2]^{\frac{1}{2}}} i + \frac{x_{R_{ij}} - x_{L_{ij}}}{[(x_{R_{ix}} - x_{L_{ix}})^2 + (x_{R_{iy}} - x_{L_{iy}})^2]^{\frac{1}{2}}} j \quad (14)$$

$$n_i \cdot t_i = 0.$$

$$n_j = \frac{x_{R_{ij}} - x_{L_{ij}}}{[(x_{R_{ix}} - x_{L_{ix}})^2 + (x_{R_{iy}} - x_{L_{iy}})^2]^{\frac{1}{2}}} i + \frac{x_{R_{ix}} - x_{L_{ix}}}{[(x_{R_{ix}} - x_{L_{ix}})^2 + (x_{R_{iy}} - x_{L_{iy}})^2]^{\frac{1}{2}}} j \quad (15)$$

$$x_i = \frac{x_{R_{ix}} + x_{L_{ix}}}{2} i + \frac{x_{R_{iy}} + x_{L_{iy}}}{2} j \quad (16)$$

$$a_i = [(x_{R_{ix}} + x_{L_{ix}})^2 + (x_{R_{iy}} + x_{L_{iy}})^2]^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

Transformasi koordinat elemen medan j dalam sistim koordinat elemen sumber i dapat dilakukan sebagai berikut :

$$n_j = nx_j i + ny_j j \quad (18)$$

$$t_j = tx_j i + ty_j j$$

atau :

$$\begin{bmatrix} t_j \\ n_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} tx_j & ty_j \\ nx_j & ny_j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ j \end{bmatrix} \quad (19)$$

sedangkan :

$$\begin{bmatrix} t_i \\ n_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} tx_i & ty_i \\ nx_i & ny_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ j \end{bmatrix} \quad (20)$$

atau :

$$\begin{Bmatrix} i \\ j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} tx_i & ty_i \\ nx_i & ny_i \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} t_i \\ n_i \end{Bmatrix} \quad (21)$$

Jadi :

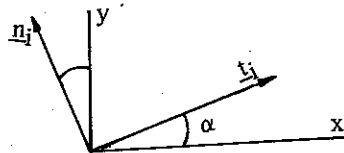
$$\begin{Bmatrix} t_j \\ n_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} tx_j & ty_j \\ nx_j & ny_j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} tx_i & ty_i \\ nx_i & ny_i \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} t_i \\ n_i \end{Bmatrix} \quad (22)$$

Bila :

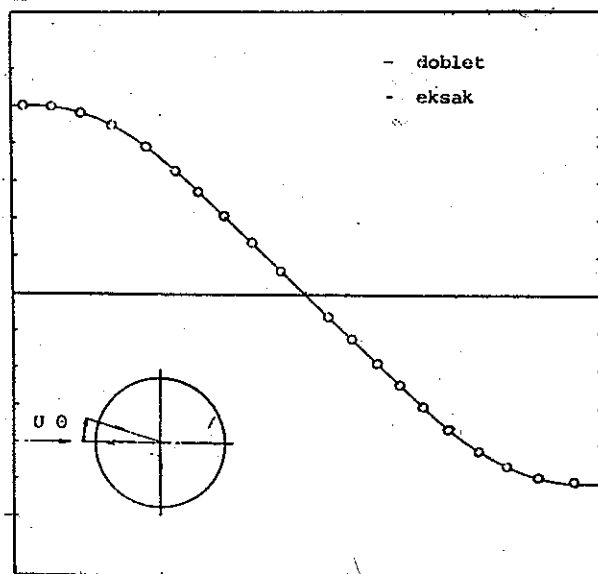
$$\begin{bmatrix} tx_i & ty_i \\ nx_i & ny_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (23)$$

Maka :

$$\begin{bmatrix} tx_i & ty_i \\ nx_i & ny_i \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$



Gambar 2 menunjukkan hasil yang diperoleh untuk kasus sederhana, dengan bentuk benda berupa lingkaran. Contoh ini dipergunakan untuk menguji apakah program yang disusun sudah baik.



Gambar 2. Distribusi potensial kecepatan pada permukaan silinder dalam aliran seragam.

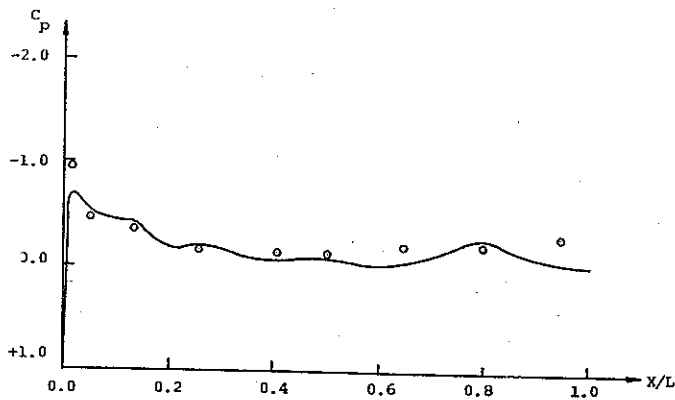
9. TINJAUAN PUSTAKA

Untuk memberikan gambaran tentang kemampuan pendekatan numerik dalam masalah aerodinamika kendaraan, berikut ini akan diuraikan beberapa hasil yang dicapai oleh Stafford. Perlu dijelaskan, bahwa metoda yang diuraikan di atas, tidak sepenuhnya sama dengan metoda Stafford, yang disusun sebelum Hess menyusun program numerik untuk kasus aliran potensial ber-gaya-angkat. Stafford menggunakan distribusi sumber pada sebagian badan pesawat, dan jaringan vorteks (vortex lattice) untuk mewakili permukaan badan kendaraan dan ulakan. Jaringan vorteks, seperti ditunjukkan dalam pustaka 2, ekuivalen dengan distribusi doblat orde ke-0, yaitu, pada tiap panil, distribusi doblat bersifat seragam.

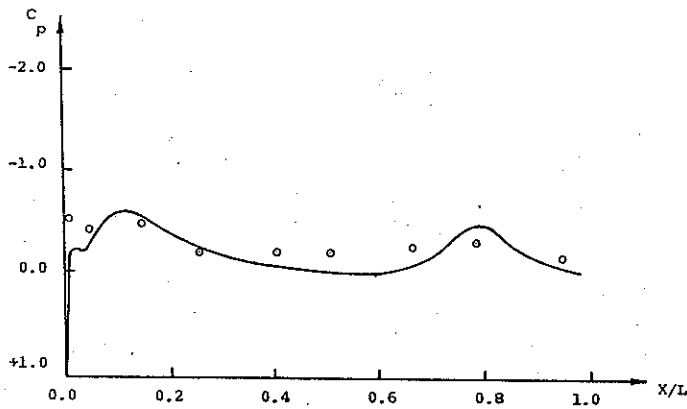
Gambar 3 dan 4 menunjukkan hasil perhitungan yang dibandingkan dengan hasil eksperimen untuk distribusi koefisien tekanan pada garis-tengah (bidang simetri) suatu model kendaraan salon untuk selang-tanah (ground clearance) $h = 0.111$ dan untuk sudut datang $\alpha = 0.1$. Gambar 5 menunjukkan suatu model kendaraan G T yang dianalisa, sedangkan gambar 6 dan 7 menunjukkan hasil perhitungan distribusi koefisien tekanan untuk sudut datang 0.1 radian dan sudut belok 0.1 radian. Gambar 8 menunjukkan hasil perhitungan distribusi koefisien tekanan sepanjang permukaan atas pada bidang simetri suatu model kendaraan (seperti tergambar), dengan dua macam bentuk bagian belakang. Hasil tersebut di atas dapat memberikan gambaran, bahwa metoda komputasi numerik dapat dipergunakan untuk meramalkan distribusi tekanan pada permukaan badan kendaraan dengan cukup baik.

10. PENUTUP.

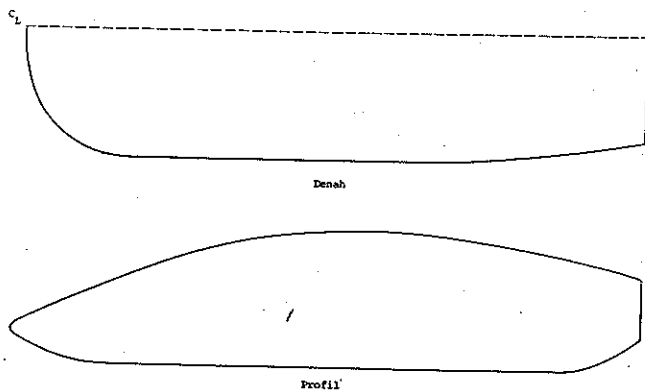
Suatu konsep untuk perhitungan aerodinamika kendaraan bermotor telah diuraikan dengan berlandaskan pada metoda komputasi aliran potensial dengan gaya angkat yang telah dikembangkan dan diuji validitasnya, yang dapat dijumpai dalam literatur. Walaupun demikian, konsep yang diuraikan disini menggunakan pendekatan yang belum sepenuhnya dilakukan dalam literatur, yaitu representasi permukaan badan kendaraan dan ulakannya dalam panil permukaan yang mengandung distribusi doblat. Oleh karena itu, konsep ini perlu dikembangkan lebih lanjut dengan menyusun program komputasinya, dan diuji validitasnya, yang direncanakan untuk dilaksanakan dalam waktu dekat. Dengan menilik pada hasil yang dicapai oleh beberapa peneliti sebelumnya, dapat diharapkan bahwa program yang disusun akan dapat dipergunakan untuk kaji parametrik dalam perancangan aerodinamik kendaraan bermotor.



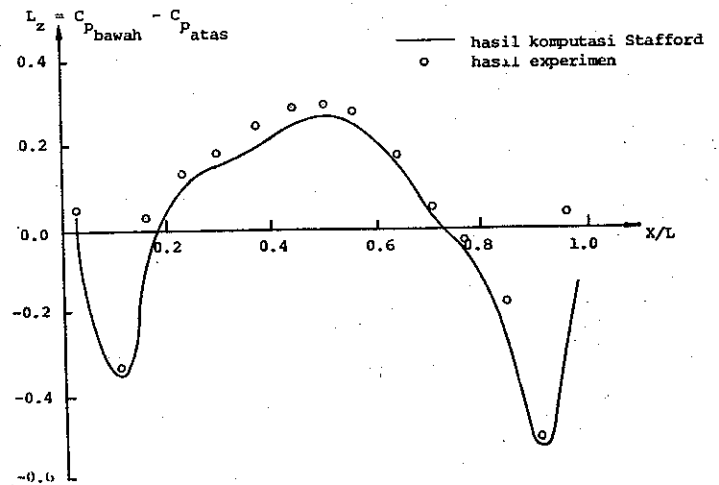
Gambar 3. Distribusi koefisien tekanan sepanjang garis tengah model kendaraan salon, bidang bawah, $h = 0.111$. (7)



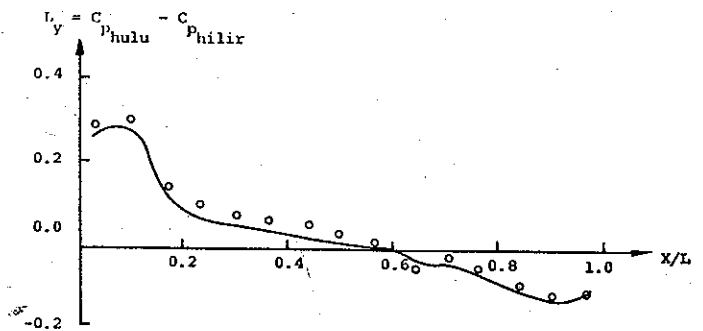
Gambar 4. Distribusi koefisien tekanan sepanjang garis tengah model kendaraan salon bidang bawah, $h = 0.035$. (7)



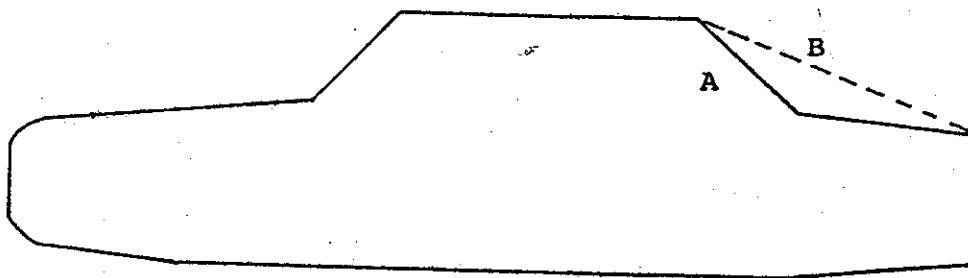
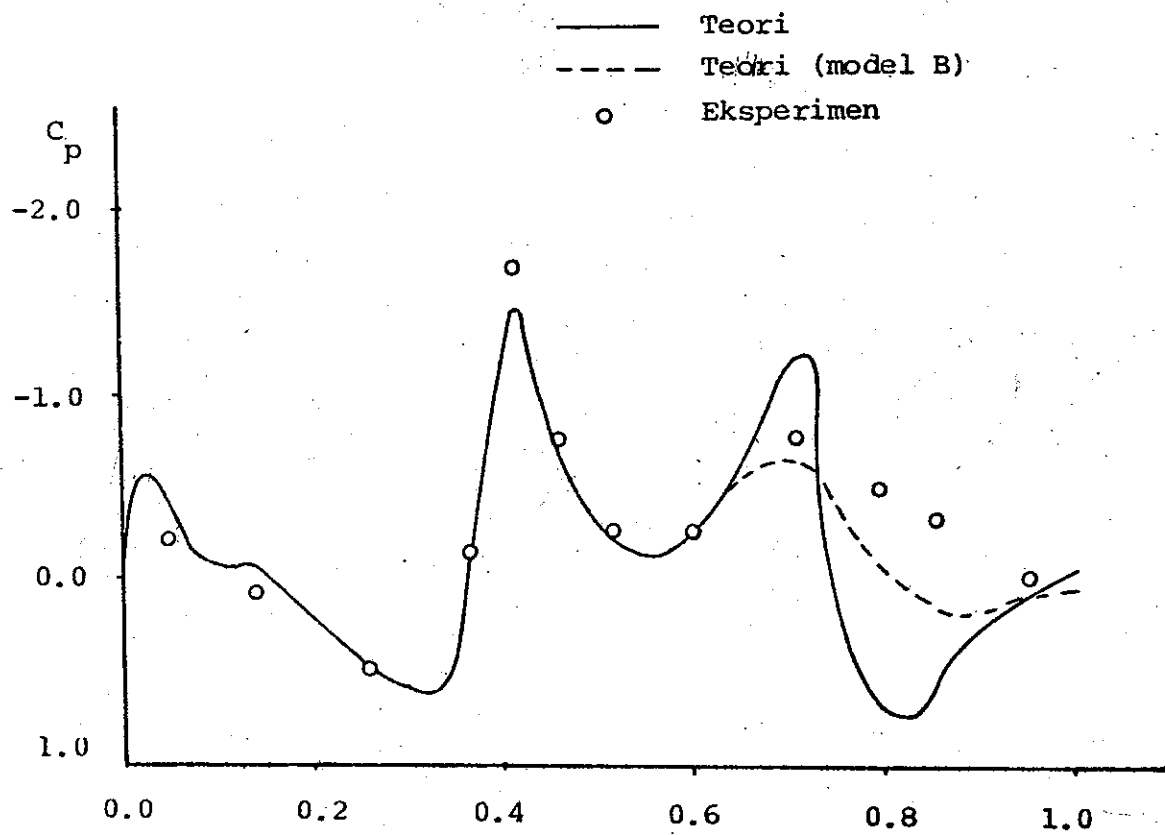
Gambar 5. Model GT dari Stafford



Gambar 6. Distribusi tekanan pada bidang simetri untuk model GT pada sudut datang 0.1 radian dan $h = 0.111$ (7)



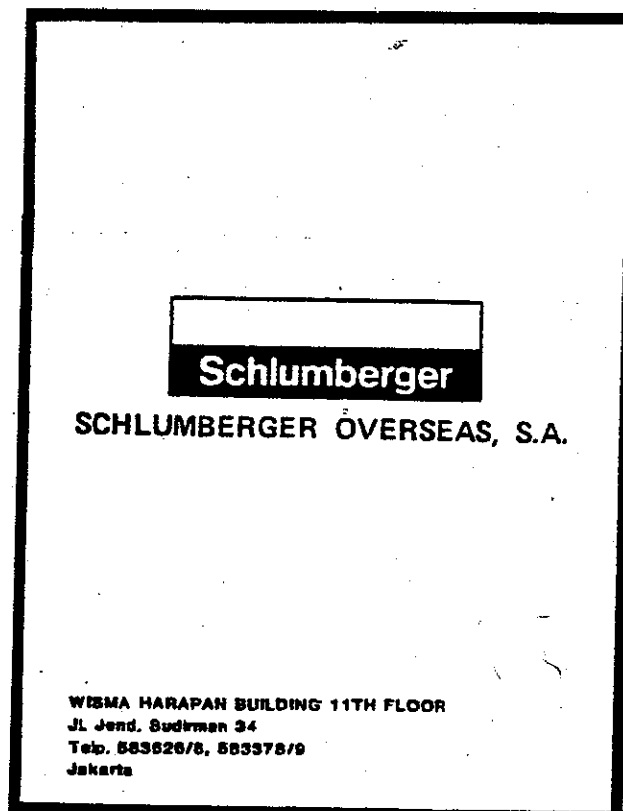
Gambar 7. Distribusi gaya lateral sepanjang garis camter model GT pada sudut belok 0.1 radian dan $h = 0.111$ (7).



Gambar 8. Distribusi Koefisien Tekanan sepanjang permukaan atas pada bidang simetri model kendaraan. (7).

DAFTAR PUSTAKA.

1. Harijono Djodihardjo, A Numerical Method for the Calculation of Nonlinear Unsteady Lifting Potential Flow Problems, Sc.D. Thesis, Oct. 1968, Dept. of Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology.
2. H. Djojodihardjo & S.E. Widnall : A Numerical Method for the Calculation of Nonlinear, Unsteady Lifting Potential Flow Problems, AIAA Journal, Vol. 7, No. 10, October 1969.
3. John L. Hess : The Problem of Three Dimensional Lifting Potential Flow and its Solution by means of Surface Singularity Distribution, in Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 4, North Holland Publishing Company, 1974.
4. John L. Hess. Calculation of Potential Flow About Arbitrary Three Dimensional Lifting Bodies, Rep. No. MDC J5679-01, Mc Donnell Douglas Corporation, Long Beach, California, 1972.
5. Th. E. Labrujere, W. Loeve and J.W. Sloof, An Approximate Method for the Calculation of the pressure distribution on wing body combinations at subcritical speeds, AGARD Conference Proceedings, No. 71, 1970.
6. LG. Stafford; "Calculation of the pressure distribution over the surface of a ground vehicle", Ph.D.thesis, The City University, United Kingdom, 1972.
7. L.G. Stafford : "A Numerical Method for the Calculation of the Flow Field Around A Motor Vehicle", paper 11, Advances in Road Vehicle Aerodynamics, Ed.H.S. Stephens, B H R A Fluid Engineering, 1974.
8. H. Djojodihardjo, Penggunaan Terowongan Angin untuk menentukan pengaruh berbagai parameter bentuk pada karakteristik aerodinamika kendaraan penumpang, kertas kerja pada Konperensi I A T O, 19-20 Januari 1979, di Jakarta.
9. H. Djojodihardjo, Pertimbangan Aerodinamika untuk penghematan penggunaan bahan bakar pada kendaraan bermotor, kertas kerja pada Konperensi IATO, 11 - 12 Oktober 1979, Jakarta.
10. H. Djojodihardjo dan Pramudji, Pengujian Model Kendaraan Niaga di dalam terowongan angin, kertas kerja pada Konperensi IATO, 11 - 12 Juni 1981, Jakarta.
11. K. Karamcheti : Principles of Ideal Fluid Aerodynamics, John Wiley & Sons, Inc., New York-London-Sydney, 1966.





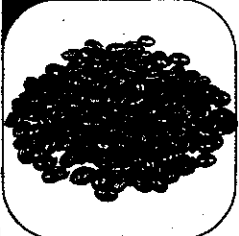
BAKRI PIPE INDUSTRIES
Pabrik pipa baja untuk gas, minyak, konstruksi tiang pancang dan pipa air.



BAKRI ARMCO
Pabrik pipa baja bergelombang untuk saluran, gorong-gorong, jembatan jalan raya/kereta api, terowongan, gudang amunisi dan guardrail/pangaman jalan.



BAKRI TUBERMAKERS
Pabrik pengecoran logam.



BAKRIE & BROTHERS
Ekspertis komoditi kopi, teh, coklat, lada, karet dan biji kapas.

KAMI ISI SALAH SATU SISI PEMBANGUNAN PERTIWI

Dengan tekad baja dan segala upaya, Bakrie & Brothers terus berjuang dan berupaya dalam kerja. Sampai tiba saatnya . . .

Bakrie & Brothers mampu menyumbangkan karya nyata sepenuh bangga bagi bangsa dan negara dari pipa-pipa baja hingga kopi dan lada.



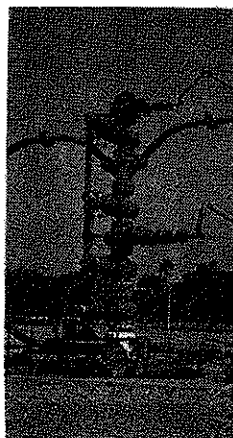
Bakrie & Brothers
**Berkarya nyata dalam
Pembangunan**

Marketing & Operations
Wisma Antara 7th Floor
Jl. Medan Merdeka Selatan 17 Jakarta Pusat
Phone : 345833 (5 Lines) Telex : 44916 Bakros IA.

PERTAMINA Mobil



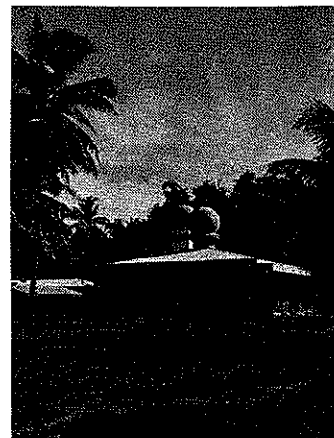
EXPLORING



PRODUCING



TRAINING



CONTRIBUTING



Mobil Oil Indonesia, Inc.

Postal Address: Post Bag 400, Jakarta Pusat, Jakarta, Indonesia.
Office Address: Ratu Plaza, Jln Jenderal Sudirman, Senayan, Jakarta, Indonesia.
Tel: 711211 Telex: 47431 MOI IA



XEROX® 2970

mesin copy kompak "multi-mampu"
yang memberi anda aneka kelebihan

"multi-mampu"

XEROX® 141%

XEROX® 122%

XEROX® Original

XEROX® 98%

XEROX® 90%

XEROX® 81%

XEROX® 70%

*Xerox 2970 - Si Kompak "multi-mampu"
memperbesar 2 ukuran, memperkecil 4 ukuran.*

SIAP MEMPERKECIL --

81% -- TEKAN "START"

SIAP -- 100% UKURAN

KERTAS A3

SIAP MEMPERBESAR --

141% -- TEKAN "START"

*Xerox 2970 - mudah dioperasikan, mesin pertama di
Indonesia dengan panel petunjuk bahasa Indonesia*



Xerox 2970 mesin copy berkemampuan tinggi yang membuka cakrawala baru dalam kemampuan dan produktivitas. Memiliki aneka kemampuan, cepat dan cermat. Keunggulan Xerox 2970 secara nyata akan membantu meningkatkan kelancaran usaha anda secara cepat.

Perhatikanlah keistimewaan-keistimewaannya:

- Memperbesar 2-Ukuran (122 & 141%)
- Memperkecil 4-Ukuran (70, 81, 90 & 98%)
- Lima ukuran kertas (A3, B4, A4, letter, legal)
- 21 lembar copy per menit (A4)
- Panel petunjuk dalam bahasa Indonesia untuk kemudahan dan kelancaran mengcopy.
- Mengcopy pada aneka ragam kertas (kertas kalkir, film OHP dan kertas lainnya)

Xerox 2970 ... babak baru dalam dunia foto copy.

Bila anda tidak menggunakannya, anda akan memboroskan waktu dan uang.

AG PT ASTRA-GRAPHIA
PERINTIS SISTEM INFORMASI
PERKANTORAN INDONESIA ©

Kepada P.T. Astra-Graphia, Marketing Department
Jalan Kramat Raya 43, Jakarta. Tel. 358634 (5 saluran)

Saya ingin keterangan lebih banyak tentang mesin Xerox. Harap kirimkan brosur atau kunjungan seorang sales representative.

Nama : _____

Alamat : _____

Tel. _____

Nama perusahaan : _____

XEROX®
kami jelas lebih baik

Cabang : Jakarta I Jl. Kramat Raya 43. Jakarta II Wisma Patra Jasa Jl. Gatot Subroto Kav. 32-34 Lantai 12A. Jakarta III Wisma Hayam Wuruk, Lt 12 Ruang 1220, Jl. Hayam Wuruk 8. Jakarta Pemerintah Jl. Kramat Raya 43. Bandung Jl. Wastu Kencana 25. Semarang Jl. Pemuda 100. Surabaya Jl. Dr. Sutomo 85. Medan d/a Gedung Medan Jaya, Jl. Imam Bonjol 16D. Ujung Pandang Jl. Dr. Sam Ratulangi 30. Balikpapan Jl. K.S. Tubun. Padang Jl. Veteran 33. Palembang Jl. Veteran 495. Perwakilan : Manado Jl. Dr. Sam Ratulangi 203. Denpasar Jl. Yos Sudarso 2. Banjarmasin Jl. Cempaka Besar 12.