UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH *JET FLUIDIC COFLOW CONTROL*

Oleh
Muhammad Haidar Razan Hilmi
11/319682/TK/38801

Diajukan kepada Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada pada 21 September 2015
untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk memperolah derajat
sarjana S-1 Program Studi Fisika Teknik

INTISARI

Penelitian yang ada pada makalah ini berkaitan dengan aplikasi Efek Coanda dalam sistem pengarah jet berbasis fluida. Eksperimen pada makalah ini merujuk pada penelitian yang telah dilakukan Mason dan William (2002) mengenai sistem pengarah jet dorong berbasis fluida dalam pengaturan 2 (dua) nozel paralel dengan kedua aliran jet searah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji permukaan lengkung untuk mendapatkan besar sudut jet keluaran yang muncul akibat Efek Coanda dan mendapatkan hubungan antara besar sudut dan kecepatan aliran fluida dari jet sekunder. Metode yang digunakan adalah berupa eksperimen laboratorium menggunakan 2 (dua) buah blower untuk menghasilkan aliran jet primer dan sekunder. Plat seng dibentuk untuk memodelkan nozel dengan nozel primer memiliki tinggi sepuluh kali lipat dibandingkan tinggi nozel sekunder. Silinder yang berlapis plat aluminium digunakan sebagai permukaan Coanda memiliki diameter sama dengan tinggi nozel primer, yaitu 10 cm. Bibir nozel jet primer, jet sekunder dan garis tengah permukaan Coanda berada dalam satu garis lurus dan disusun rapat bertingkat. Kecepatan jet primer dijaga pada 7.5 m/s. Kecepatan jet sekunder bervariasi, diatur oleh bukaan keran dari 30% hingga 100% (terbuka penuh). Dari hasil eksperimen diperoleh bahwa dari setiap kecepatan jet sekunder yang dihasilkan dari bukaan keran, yaitu 0.7 m/s, 2.5 m/s, 3.9 m/s, 5.8 m/s, 8.6 m/s, 11.3 m/s dan 14.1 m/s, diperoleh sudut deviasi jet keluaran berkorelasi dengan kecepatan jet sekunder tersebut secara urut yakni 3.1°, 2.89°, 2.64°, 4.24°, 6.31°, 10.41°, 16.25°, 18.77°. Dari hasil tersebut diperoleh kesimpulan bahwa terjadi korelasi linier antara peningkatan kecepatan jet sekunder dengan sudut deviasi jet keluaran yang dihasilkan.

Kata kunci: Efek Coanda, pengarah jet, *fluidic coflow control*, sudut deviasi.

Pembimbing Utama : Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc
Pembimbing Pendamping : Dr.-Ing. Sihana

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

THE INFLUENCE OF SECONDARY JET VELOCITY TO THE RESULTANT JET DUE TO COANDA EFFECT ON FLUIDIC COFLOW CONTROL THRUST VECTORING SYSTEM

By:
Muhammad Haidar Razan Hilmi
11/319682/TK/38801

Submitted to the Department of Engineering Physics
Faculty of Engineering Universitas Gadjah Mada on September 21, 2015
In partial fulfillment of the Degree of
Bachelor of Engineering in Engineering Physics

ABSTRACT

The work presented in this paper is correlated with the application of Coanda Effect in fluidic jet thrust vectoring system. Experiment used in this paper is done based on work carried by Mason and William (2002) on fluidic coflow control set up of thrust vectoring. Aim of this research are to test the effect of Coanda surface to the angle of exhaust jet and to get the correlation between deviation angle of exhaust jet and the velocity of secondary jet. Zinc plate is shaped to model the primary jet nozzle, which has the slot height ten times wider than the secondary one. Cylinder covered with aluminium plate used as Coanda surface which diameter same as the primary jet nozzle slot height, 10 cm. The nozzles' front end and cylinder's axis are aligned and piled up. The primary jet velocity is kept constant at 7.4 m/s while the secondary jet velocity is varied by valve opening started from 30% and 100% opening (fully opened). The experiment resulted that from every secondary jet velocity achieved, 0.7 m/s, 0.7 m/s, 2.5 m/s, 3.9 m/s, 5.8 m/s, 8.6 m/s, 11.3 m/s dan 14.1 m/s, we get the exhaust jet angle at 3.1°, 2.89°, 2.64°, 4.24°, 6.31°, 10.41°, 16.25°, 18.77°. Conclusion obtained from the experiment result is the linear correlation between increment of the secondary jet velocity and deviation angle of exhaust jet.

Keywords— Coanda Effect, thrust vectoring, fluidic coflow control, deviation angle.

Supervisor : Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc
Co-supervisor : Dr.-Ing. Sihana

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Penggunaan pesawat terbang sebagai alat transportasi tercepat di muka bumi dan juga sebagai andalan sebagai persenjataan dalam perang tentu membutuhkan inovasi tiada henti. Sejak penerbangan pertama pesawat terbang bermesin ciptaan Wright Bersaudara pada tahun 1903, penelitian mengenai bagaimana meningkatkan performansi penerbangan pesawat terbang tidak berhenti dan masih akan terus berkembang. Hal-hal yang mendefinisikan performansi pesawat terbang adalah jarak tempuh penerbangan, beban yang mampu ia angkut dan kehebatan sistem manuver yang dimiliki [1]. Begitu banyak sistem penerbangan yang diajukan sebagai pesawat dengan performansi terbaik. Terkhusus untuk aspek manuver, hal ini sangat dipengaruhi oleh teknologi pengarahan jet dorong (*thrust vectoring*).



Gambar I.1(a) di sebelah kiri menunjukkan pesawat Bell-Boeing V-22 Osprey menggunakan konsep *tilting propellers*, sedangkan Gambar I.1(b) di sebelah kanan menunjukkan pesawat Harrier Fighter, beserta detail *jet orienting nozzle* yang digunakan [1].

Secara umum, metode untuk melakukan pengarahan jet dorong ada 2 (dua), yaitu dengan menggunakan kontrol mekanik dan kontrol fluida. Kontrol mekanik merupakan teknologi yang kuno yang sedang berusaha digantikan di sini. Kontrol mekanik menggunakan komponen mekanik yang bergerak untuk mengarahkan jet

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dorong. Kontrol mekanik yang ada berupa baling baling yang dimiringkan (*tilting propellers*) seperti pada gambar I.1(a), nozel yang diarahkan (*oriented nozzles*) atau bilah pengarah (*guide vanes*) seperti pada gambar I.1(b).

Tilting propellers menghasilkan pengarah jet dorong dengan cara memutar mesin turboprop-nya. Sistem ini sempat direkomendasikan namun ternyata memiliki banyak masalah menyangkut desain yang membutuhkan kehati-hatian yang sangat tinggi agar mengindari efek gyroskopis. Contoh dari pesawat yang menggunakan desain ini adalah Bell-Boeing V-22 Osprey.

Penggunaan bilah pengarah merupakan metode paling klasik. Bilah pengarah diletakkan di mulut nozel dan dapat diatur kemiringannya. Pesawat yang menggunakan metode ini adalah pesawat Harrier Fighter. Metode ini sangat sukses karena mampu mempertahankan pesawat pada kondisi terjang 90º. Prinsip ini sama dengan model nozel terorientasi. Bedanya dengan bilah pengarah adalah, model ini menggerakkan nozel itu sendiri agar mulut nozel mengarah pada sudut tertentu. Pesawat yang menggunakan teknologi ini adalah Lockheed Martin/Boeing F-22 Raptor. Walaupun begitu, ditemukan asumsi bahwa sekitar 30% dari berat mesin pesawat F-22 Raptor berasal dari kontrol mekanik untuk jet pendorong dan dinilai memakan porsi berat terlalu besar.

Salah satu sistem lain yang diajukan adalah pesawat terbang *Vertical Short-Take-Off and Landing* (V/STOL). Pesawat terbang tipe ini memiliki kemampuan untuk lepas landas (*take-off*) ataupun mendarat (*landing*) dengan memerlukan landasan pacu (*runway*) yang pendek. Jika dikaitkan dengan kebutuhan Indonesia, pesawat ini sangat prospektif mengingat begitu banyaknya kepulauan yang ingin di hubungkan demi meratanya pembangunan namun terkendala medan yang sulit dan minimnya lahan untuk landasan pacu di tengah ramainya populasi masyarakat.

Kunci dari sistem V/STOL ini adalah pada teknologi pengarah jet dorong berbasis fluida (*fluidic thrust vectoring*). Teknologi *fluidic thrust vectoring* memiliki

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

kegunaan selain yang sudah disebutkan di atas adalah untuk menambah lingkup terbang (*flight envelope*) dibandingkan nozel pada mesin klasik. Pada dunia militer, teknologi ini dapat meningkatkan kemampuan kontrol pesawat tempur pada kondisi sudut terjang (*angle of attack*) yang tinggi. Kedua kegunaan terakhir ini lah yang mampu membuat sebuat pesawat memiliki kemampuan manuver yang luar biasa (*supermanouvreable air vehicle*).

Kontribusi pada penelitian mengenai V/STOL dilakukan oleh Uni Eropa melalui proyek ACHEON (*Aerial Coanda High Efficiency Orienting-jet Nozzle*). Penggunaan Efek Coanda menjadi tema penting dalam penelitian ini. Efek Coanda menurut Newman adalah efek langsung dari proses kesetimbangan gaya yang bekerja pada fluida sehingga fluida melekat pada permukaan lengkung yang ia aliri [3]. Aplikasi Efek Coanda pada pengarah jet dorong dapat dilakukan dalam beberapa setelan (*setup*), salah satunya adalah sistem aliran searah (*coflow fluidic thrust vectoring*). Sistem ini nantinya akan menghasilkan gaya angkat tergantung pada geometri permukaan lengkung Coanda (*Coanda surface*), kecepatan jet sekunder dan ketinggian nozel jet sekunder [2].

Hubungan antara ketiga faktor ini sudah banyak dihasilkan melalui model CEPA (*Coanda Effect Pressure Approximity*) dan CEVA (*Coanda Effect Velocity Approximity*). Model tersebut merupakan model semi-empiris karena dihasilkan melalui penggabungan teori-teori dan berbagai macam eksperimen untuk menghasilkan pendekatan. Sudut jet dorong juga dapat diprediksi melalui model-model tersebut.

I.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah yang bisa diambil adalah bagaimana merancang suatu eksperimen untuk mendapatkan besar sudut jet dorong dari beberapa variasi kecepatan aliran pada permukaan Coanda (*Coanda surface*).

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

I.3. Batasan Masalah

Efek Coanda adalah suatu subjek pembahasan yang cukup luas. Oleh karena itu perlu adanya batasan masalah yang dibangun agar pembahasan tidak melebar pada masalah-masalah lain. Dalam eksperimen kali ini batasan masalah yang akan masuk dalam subjek penelitian maupun pembahasan mencakup:

1. Eksperimen dilakukan pada bidang lengkung dengan jari-jari kelengkungan berukuran 5 cm.
2. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan aliran udara dari 2 (dua) buah blower. Sebuah blower sentrifugal berlaku sebagai jet primer dengan kecepatan keluaran udara dijaga tetap pada 7,2 – 7,5 m/det. Blower kedua berlaku sebagai jet sekunder dengan kecepatan keluaran udara yang divariasikan pada kecepatan 0,7 – 14,2 m/det.

I.4. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menguji permukaan lengkung dan mendapatkan besar sudut jet resultan yang muncul akibat Efek Coanda.
2. Mendapatkan hubungan antara besar sudut jet resultan dan kecepatan aliran fluida dari jet sekunder.

I.5. Manfaat

Manfaat penelitian ini bagi penulis adalah menambah khazanah pengetahuan mengenai teknologi terkini yang digunakan pada teknik pesawat terbang, terutama penggunaan Efek Coanda. Penelitian ini juga dapat bermanfaat bagi pihak-pihak lain yang ingin menjadikan penelitian ini sebagai acuan sehingga dapat melakukan pengembangan mengenai *thrust vectoring* menggunakan Efek Coanda.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET
FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

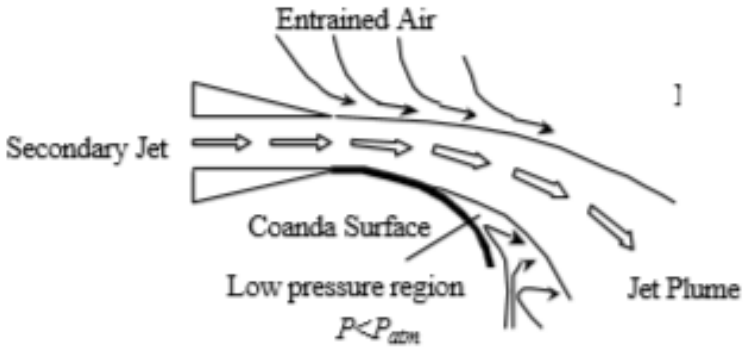
Sejak Henry Coanda mempublikasikan patennya mengenai Efek Coanda pada tahun 1911, begitu banyak penelitian untuk menyempurnakan dan menemukan rumusan empiris teoritis mengenai Efek Coanda dan diikuti dengan penelitian mengenai aplikasi dari Efek Coanda dalam pesawat V/STOL beserta pendekatan matematisnya. Beberapa penelitian mengenai pendekatan matematis untuk aspek-aspek tertentu pada *fluidic thrust vectoring* yang sudah dilakukan akan dijabarkan di sini.

II.1. Koefisien Vektor Gaya Dorong (*Thrust Vector Coefficient*)

Koefisien vektor gaya dorong (C_z) dapat diartikan sebagai nilai yang menunjukkan perbandingan antara gaya angkat atau gaya lempar relatif bidang normal terhadap gaya dorong yang dihasilkan dari jet. Penelitian ini dilakukan oleh Mark S. Mason dan William J. Crowther yang dipublikasikan pada tahun 2002. Untuk mendapatkan besaran koefisien vektor gaya dorong dilakukan eksperimen untuk memodelkan kontrol fluida menggunakan model aliran fluida searah (*coflow fluidic thrust vectoring*) [2].

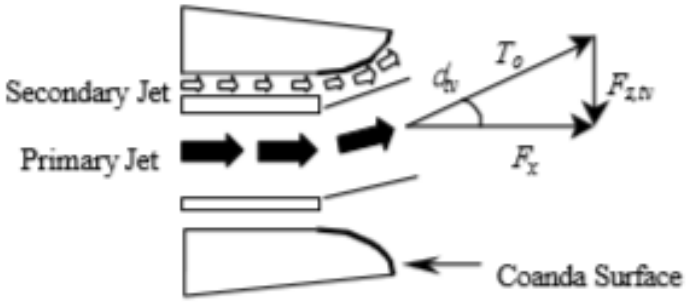
Untuk melakukan eksperimen, terdapat dua buah nozel yang disusun rapat sejajar. Nozel pertama dengan dengan ketinggian nozel yang besar disebut jet primer yang akan mengeluarkan jet dorong utama yang akan menjadi objek untuk diarahkan. Nozel kedua dengan ketinggian nozel lebih kecil disebut jet sekunder yang akan mengembuskan jet dengan variasi kecepatan yang akan menenukan seberapa besar arah jet utama akan membelok. Sebuah permukaan lengkung yang disebut permukaan Coanda (*Coanda Surface*) menempel pada sisi lain dari nozel jet sekunder.

PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET
FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar II.1 Efek Coanda aliran jet sekunder pada permukaan cembung [2].

Prinsip kerjanya adalah dengan menggunakan permukaan Coanda untuk membelokkan jet sekunder. Aliran fluida akan tertarik mengikuti permukaan Coanda menghasilkan produk aliran yang disebut *entrained air*. Berikutnya, aliran fluida ini akan bergerak semakin cepat melewati permukaan Coanda mengasilkan area bertekanan rendah yang menghasilkan gradien tekanan tegak lurus terhadap aliran jet primer. Percepatan aliran jet sekunder pada sisi yang tidak bersentuhan dengan permukaan Coanda ditambah dengan respon penerimaan (*receptivity*) jet primer terhadap perubahan kecil pada medan aliran ini akan mengakibatkan perubahan arah jet dorong secara keseluruhan.



Gambar II.2 Konsep *coflow fluidic thrust vectoring* yang digunakan [2].

Resultan dari gaya normal dari kedua jet yaitu jet primer dan jet sekunder, dilambangkan dengan $F_{z,tv}$, terhadap permukaan Coanda akan menghasilkan momen

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

lempar (*pitching moment*) yang dilambanhkan dengan $M_{z,tv}$. Pengaruh kedua hal ini pada pusat gravitasi pesawat mampu menghasilkan kontrol pesawat ketika terbang. Kedua gaya ini disatukan dalam bilangan non-dimensional yang disebut koefisien vektor gaya dorong, C_z :

$$C_z = \frac{F_{z,tv}}{T_0} \tag{2.1}$$

C_z berhubungan dengan sudut vektor gaya dorong (*thrust vector angle*) yang ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$\delta_{tv} = \tan^{-1} C_z \tag{2.2}$$

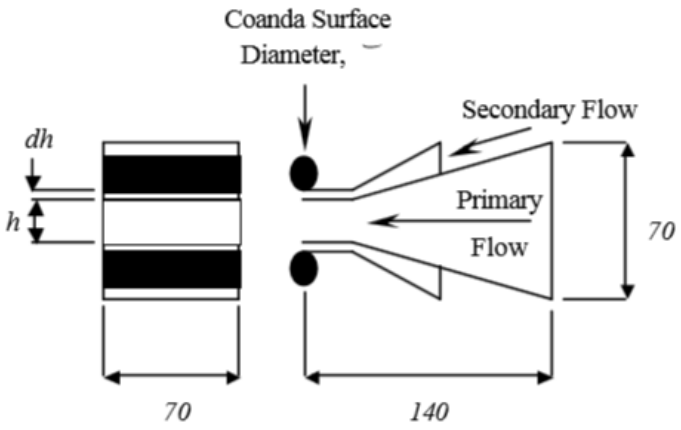
Perlu dicatat bahwa pengarah jet menghasilkan hambatan (*drag penalty*). Ketika $d_{tv} > 0$ maka besar dorongan dari jet primer akan lebih kecil dari besar dorongan resultan ($F_x < T_0$).

II.1.1. Model Demonstrasi

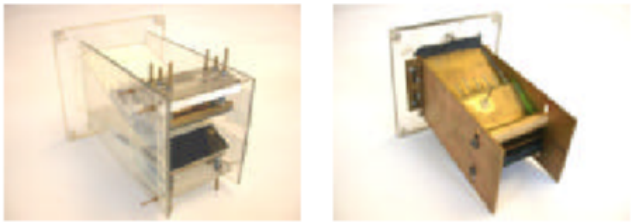
Desain dengan skala 1/10 dari ukuran nozel pesawat sebenarnya digunakan untuk mendemonstrasikan pengarahan jet pada wilayah penerbangan subsonik rendah.

Dua instalasi demonstrator dibangun untuk mengetahui efek dari ketinggian celah dari jet sekunder, *dh*, (instalasi a) dan diameter permukaan Coanda, *Ø*, (instalasi b). Pada penelitian ini, ketinggian jet sekunder dan diameter permukaan Coanda akan dibandingkan dengan ketinggian jet primer, *h*.

PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar II.3. Skema dari instalasi (dimensi dalam mm) [2].



Gambar II.4 Instalasi dari kedua demonstrator [2].

II.1.2. Prosedur Eksperimen

Rentang eksperimen dilakukan pada laju aliran massa jet sekunder, m_s, kira-kira 13% dari laju aliran massa jet primer, m_p, yang berkorespondensi dengan momentum aliran massa jet sekunder, M_s, kira-kira 40% dari momentum aliran massa jet primer, M_p. Rentang ini dipakai untuk memungkinkan pengamatan keseluruhan dari karakteristik aliran dari jet yang diarahkan. Konfigurasi jet dilakukan pada rentang $0 \leq dh/h \leq 0.08$ dan $0 \leq Ø/h \leq 1$.

Instalasi demonstrator digabungkan dengan sebuah kipas sentrifugal untuk menghasilkan kecepatan jet primer, $V_p \approx 19$ m/s ($m_p \approx 0{,}024$ kg/s, $M_p \approx 0{,}46$ kgm/s). Udara bertekanan digunakan untuk menyuplai aliran jet sekunder. Laju aliran massa

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dikontrol menggunakan regulator tekanan dengan laju aliran yang diukur menggunakan rotatometer vertikal. Pengukuran gaya dorong, F_x, dan vektor gaya dorong, $F_{z,tv}$, diperoleh dengan meningkatkan laju aliran jet sekunder berdasarkan konfigurasi pada Tabel II.1:

Tabel II.1. Konfigurasi eksperimen yang digunakan dalam penelitian [2].

Const. *Ø/h*	*dh/h*	Const. *dh/h*	*Ø/h*
3,3	0,013	0,04	0,0
3,3	0,026	0,04	0,33
3,3	0,040	0,04	0,50
3,3	0,053	0,04	0,66
3,3	0,066	0,04	0,83
3,3	0,080	0,04	1,0

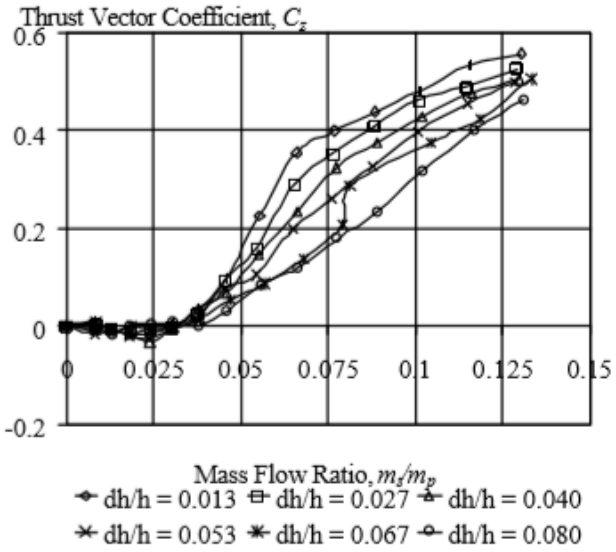
II.1.3. Hasil Eksperimen

Setelah dilakukan pengujian yang sistematis dan statis, diperoleh karakteristik dari jet primer pada kondisi setelah pengarahan.

II.1.3.1. Variasi Ketinggian Slot Jet Sekunder

Gambar II.6 menunjukkan hubungan antara rasio aliran massa dan koefisien vektor gaya yang dihasilkan untuk beberapa variasi ketinggian celah jet sekunder pada diameter permukaan Coanda yang konstan pada $Ø/h$ = 3,3. Enam variasi ketinggian celah telah diuji pada rentang $0 \leq dh/h \leq 0{,}08$. Hasilnya menunjukkan bahwa ketika laju aliran jet sekunder meningkat, makan koefisien vektor gaya juga akan meningkat.

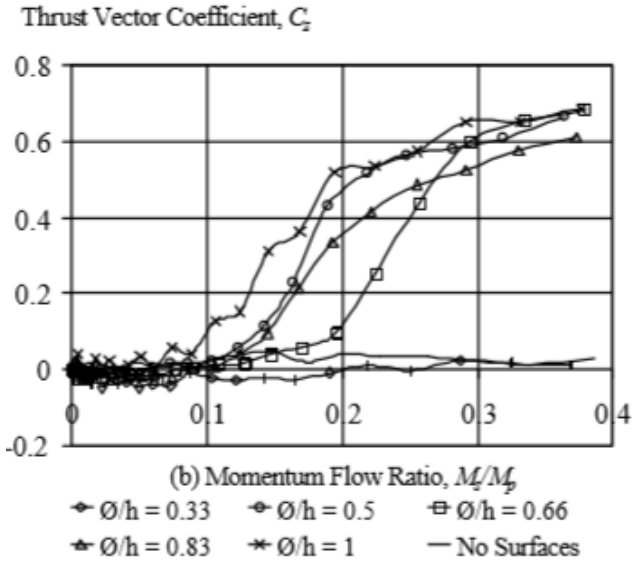
PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET
FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar II.5 Grafik koefisien vektor gaya terhadap rasio laju aliran massa pada variasi *dh/h* [2].

II.1.3.2. Variasi Diameter Permukaan Coanda

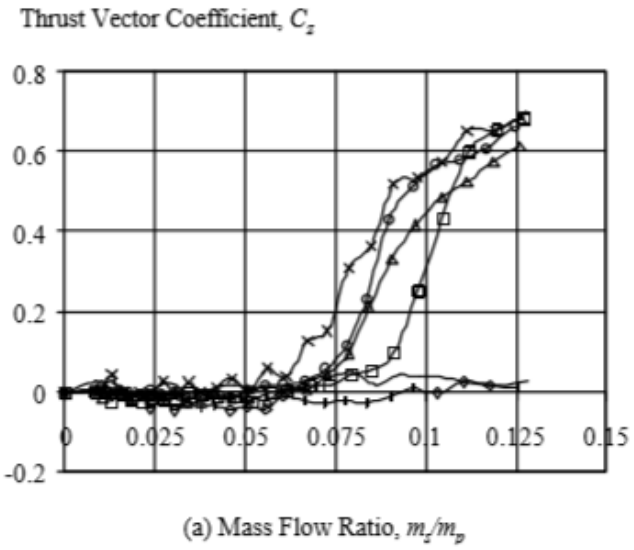
Di samping memvariasikan ketinggian slot jet sekunder, berikutnya diameter.



Gambar II.6 Grafik koefisien vektor gaya terhadap rasio laju aliran momentum pada variasi *Ø/h* [2].

PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET
FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar II.6 dan II.7 menunjukkan hubungan antara rasio aliran massa, rasio aliran momentum dan koefisien vektor gaya atau koefisien angkat pada berbagai macam variasi diameter permukaan Coanda dengan rasio ketinggian celah konstan dh/h = 0,04. Enam macam diameter permukaan Coanda diuji pada rentang $0 \leq Ø/h \leq 1$.



Gambar II.7 Grafik koefisien vektor gaya terhadap rasio laju aliran massa pada variasi $Ø/h$ [2].

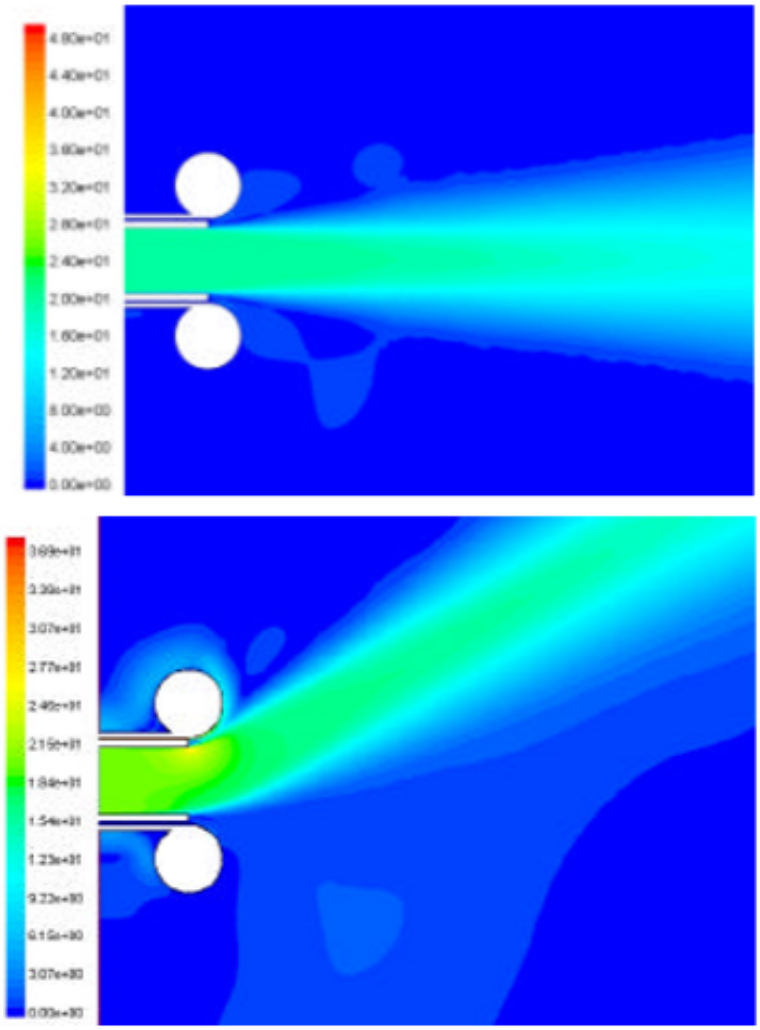
Hasil ini menunjukkan bahwa aliran jet sekunder akan berpisah atau lepas dari permukaan Coanda pada diameter yang kecil. Semakin cepat aliran jet sekunder terpisah dari permukaan Coanda, makan sistem pengarah jet tersebut semakin tidak efektif. Dari kedua gambar juga ditemukan zona mati (*dead zone*), atau zona dimana kontrol tidak dapat lagi diberlakukan, pada $m_s \ll m_p$. Hal ini menunjukkan bahwa Efek Coanda tidak mampu berfungsi pada laju aliran jet sekunder yang rendah.

II.1.3.3. *Computational Fluid Dynamic*

Pada setiap pengujian menggunakan perangkat lunak ini, konfigurasi jet terletak pada dh/h = 0,04, $Ø/h$ = 1 dan V_p = 20 m/s.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET
FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

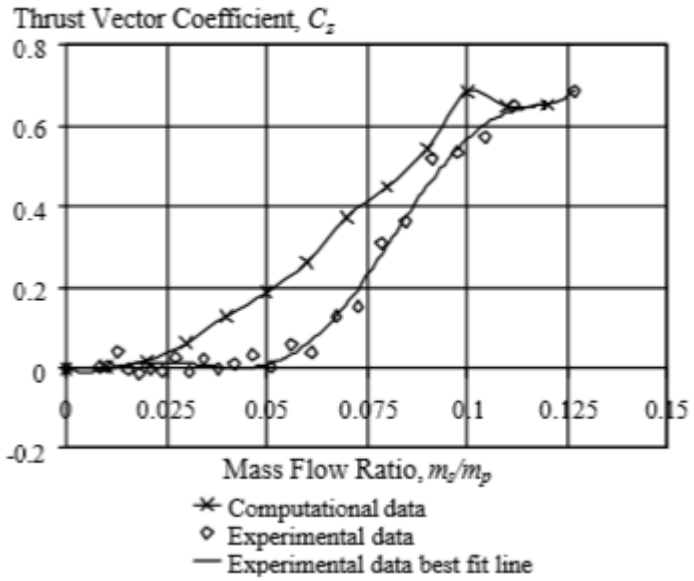
Gambar II.8 menunjukkan kondisi pada jet yang tidak dalam kondisi diarahkan (V_s = 0 m/s, m_s/m_p = 0 m/s). Gambar II.9 menunjukkan kondisi jet dalam kondisi diarahkan (V_s = 35 m/s, m_s/m_p = 0,07 m/s).



Gambar II.8 Hasil olah CFD pada jet kondisi bebas dan hasil olah CFD pada jet kondisi diarahkan [2].

Perbandingan antara hasil eksperimen dengan permodelan CFD ditunjukkan pada Gambar II.9 seperti di bawah ini.

PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET
FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar II.9 Grafik hasil eksperimen dan hasil permodelan CFD [2].

Dapat dilihat bahwa kedua kurva memliki tren yang sama. Perbedaannya terletak pada jangkauan area zona mati. Zona mati memiliki jangkauan lebih panjang pada hasil eksperimen dibandingkan dengan hasil komputasi.

II.1.3.4. Visualisasi Aliran Menggunakan Asap

Pada visualisasi ini, konfigurasi jet ditetapkan pada dh/h = 0,04, $Ø/h$ = 1.



Gambar II.10 Visualisasi dari aliran jet bebas [2].

PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET
FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar II.11 Visualisasi dari aliran jet yang diarahkan [2].

Pada visualisasi ini diperoleh nilai C_z = 0,14 pada kondisi ketika jet diarahkan. Keseluruhan hasil yang diperoleh ini hanya menghasilkan perbedaan sudut dan gaya yang kecil ketika pengarahan jet diarahkan.

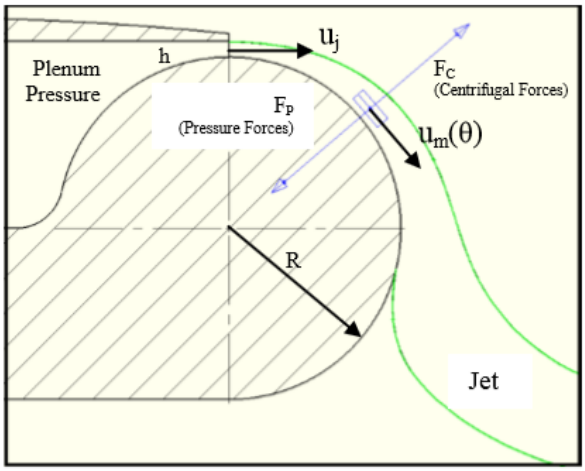
II.2. Titik Separasi

Menentukan titik dimana aliran jet mulai terpisah dari permukaan Coanda penting untuk diketahui untuk mengetaui seberapa besar sudut jet dorong yang dihasilkan. Untuk mengetahui *separation point* ini harus diketahui profil kecepatan aliran di sekitar permukaan Coanda secara keseluruhan terlebih dahulu.

II.2.1. *Coanda Effect Velocity Approximation*

Penelitian untuk menghasilkan persamaan matematis untuk menggambarkan aliran kecepatan di sekitar permukaan silinder ini dilakukan oleh Valeriu Dragan yang dipublikasikan pada tahun 2012. Penelitian yang ia lakukan ini memberikan koreksi dari penelitian mengenai *Reynold Averaged Navier Stokes* (RANS) terkhusus pada bagian disipasi akibat turbulensi yang dihasilkan dalam aliran yang dapat digunakan untuk memperkirakan titik dimana aliran lepas dari permukaan Coanda (*separation point*).

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET
FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



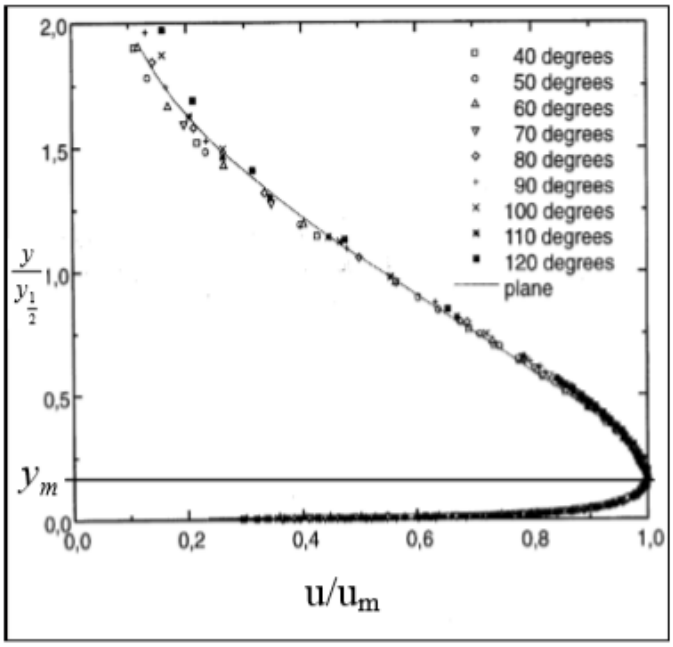
Gambar II.12 Pengaturan geometri dari jet di permukaan Coanda [4].

Tentunya penelitian yang ia lakukan didasari pada penelitian-penelitan yang ada sebelumnya. Kebanyakan eksperimen yang dilakukan sejak tahun 1980-an sampai 1990-an dilakukan dalam batasan berikut:

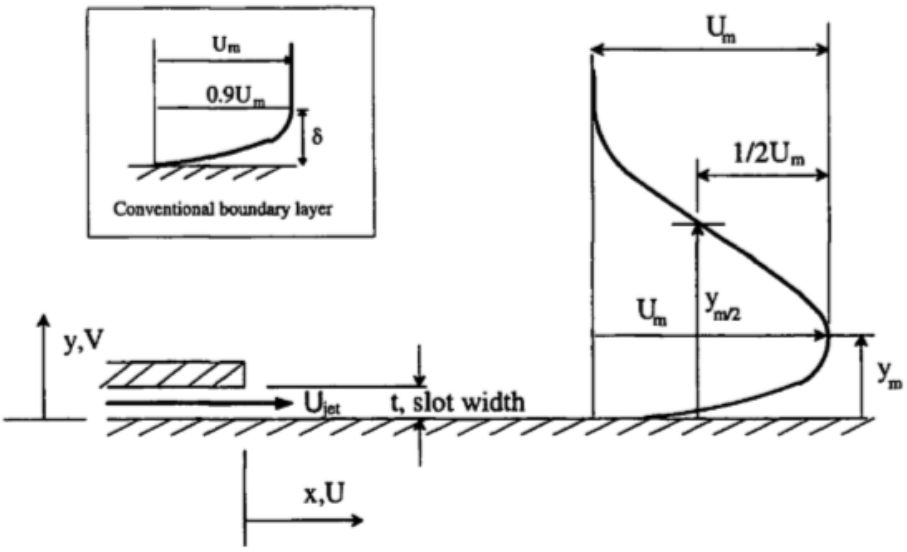
1. Alirannya tipis (*thin flow*). Untuk menghasilkan tipe aliran ini maka ketinggian celah blower (*blowing slot height*), h, adalah kurang dari 6% dari radius permukaan Coanda, R.
2. Kecepatan aliran udara sekitar (*ambient air*) adalah nol.
3. Kecepatan aliran rendah, biasanya kurang dari 50 m/s.

Model *Coanda Effect Velicity Approximation* (CEVA) yang diangkat oleh Valeriu Dragan dibuat berdasarkan hasil observasi aliran jet tipis seperti pada grafik persamaan diri (*self-similarity*) Gambar II.13.

PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET
FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar II.13 Distribusi kecepatan radial oleh Wygnansky [4].



Gambar II.14 Nomenklatur berkenaan dengan jet di permukaan dinding [6].

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar tersebut merupakan indikator kuat bahwa lapisan batas (*boundary layer*) adalah bersifat laminar karena hasil grafik yang serupa didapatkan dari berbagai macam sudut pengamatan pada permukaan Coanda tidak mungkin didapatkan pada kondisi turbulen yang memiliki profil kecepatan yang kompleks.

Pada banyak kasus permodelan semi-empiris (menggunakan *setup* eksperimen pada Gambar II.12), ditentukanlah distribusi kecepatan radial yang menjelaskan normalisasi u/u_m sebagai fungsi $y/y_{1/2}$ (lokasi setiap parameter dapat dilihat pada Gambar II.14). Mengetahui profil kecepatan sebenarnnya untuk setiap lokasi sudut dilakukan dengan menentukan kecepatan maksimal u_m berikut dengan ketebalan referensi (*reference thickness*) $y_{1/2}$. Untuk mendapatkan hal tersebut, sebelumnya kedua parameter, yakni u_m dan $y_{1/2}$ dijabarkan sebagai fungsi dari rasio h/R dan jarak dari blowing slot, $x-x_0$.

Pada kasus untuk menentukan kecepatan lokal maksimum, persamaan biasanya ditunjukkan dalam rasio antara u_m dan kecepatan aliran awal dari blower (*initial blowing velocity*) u_j.

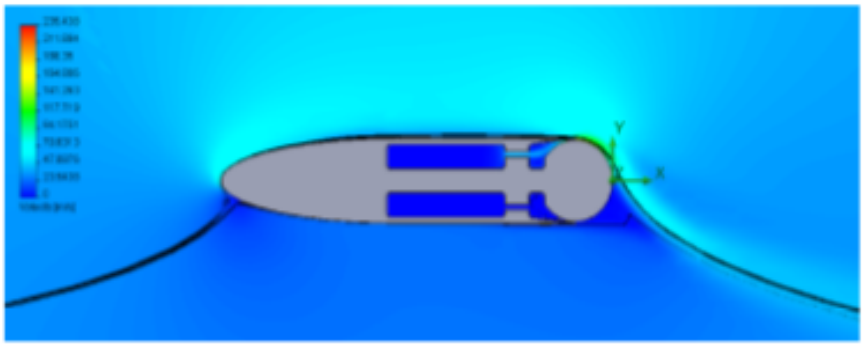
Parameter lain yang dihitung adalah ketebalan lapisan batas, y_m, yang mana y_m adalah linear tergantung pada $y_{1/2}$. Dalam definisi Lewinsky dan Yehm notasi ym menunjukkan ketebalan dimana kecepatan lokal maksimal terjadi (kecepatan yang ditemukan pada ym sama dengan 99% kecepatan lokal maksimal u_m.

Secara teori, pada daerah yang sangat dekat dengan blowing slot tidak akan menunjukkan properti *self-similarity*. Oleh karena itu, permodelan ini dibatasi pada jarak paling tidak 20º dari *blowing slot*.

Pengecualian yang lain oleh Wynansky menunjukkan kecenderungan terjadinya transisi lapisan batas dari aliran laminar ke turbulen pada daerah yang sangat jauh pada permukaan Coanda yaitu pada posisi angular lebih dari 180º.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET
FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Pengecualian-pengecualian tersebut tidak mempengaruhi model karena sayap yang digunakan dalam permodelan ini merupakan *Upper Surface Blown Wings* yang membuat jet tetap menempel di permukaan Coanda di area pada sudut 80º sampai 110º.



Gambar II.15 Sayap *Upper Surface Blown Wings* [5].

Permodelan awal untuk distribusi kecepatan radial diberikan oleh model Rodman Wood Roberts (RWR). Ada dua persamaan dalam model ini, yaitu persamaan untuk *boundary layer* dan persamaan pada area yang jauh (*far field flow*).

$$\frac{u}{u_m} = 2\left(\frac{y}{y_m}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{y}{y_m}\right)^{\frac{2}{n}}, y < y_m \quad (2.3)$$

$$\frac{u}{u_m} = sech^2\left[\frac{k\,(y-y_m}{y_{1/2}-y_m}\right], y > y_m \quad (2.4)$$

Model di atas menunjukkan y_m memiliki besar yang bergantung pada posisinya pada permukaan Coanda, radius kelengkungan permukaan Coanda dan ketinggian celah *blowing slot*.

$$\frac{y_m}{y_{1/2}} = 0{,}159 \quad (2.5)$$

Persamaan (2.5) didapat dari observasi dimana $y_{1/2}$ menunjukkan ketebalan yang berkorespondensi dengan kecepatan tangensial yang setara dengan separuh dari kecepatan lokal maksimal u_m.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Persamaan akhir dari model RWR untuk mengkuantifikasi penurunan kecepatan sepanjang permukaan Coanda sebagai rasio terhadap *initial blowing velocity* adalah:

$$u_m = u_j \, 4{,}9 \left(\frac{c}{h} + 9{,}6\right)^{-0{,}55} \tag{2.6}$$

Harus digarisbawahi bahwa kecepatan lokal maksimal untuk posisi angular dekat dengan *blowing slot* lebih besar daripada *blowing velocity* u_j. Ini adalah salah satu alasan mengapa Efek Coanda menghasilkan penurunan tekanan (*pressure drop*). Fenomena ini menaikkan tekanan dinamis jet yang mengakibatkan tekanan harus turun jauh di bawah tekanan atmosfer (terutama pada jet berkembang penuh).

Banner memberikan perkiraan kasar pada koeifisien tekanan akibat Efek Coanda sebagai fungsi ketinggian celah (h) dan radius kelengkungan R:

$$C_p = -2\frac{h}{R} \tag{2.7}$$

Salah satu kelemahan dari model RWR adalah ia hanya memasukkan rasio h/R. Ini menuju pada tidak sensitifnya rasio ini untuk menentukan lapisan batas referensi untuk geometri yang bermacam-macam. Secara umum, model RWR digunakan untuk radio h/R kurang atau sama dengan 2%. Ketebalan referensi sendiri dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$y_{1/2} = R.\,0{,}147.\left[exp\left(0{,}497\frac{x-x_0}{R}\right) - 1\right] \tag{2.8}$$

Berbagai macam eksperimen untuk menguji model di atas telah dilakukan. Akhirnya ditemukan bahwa model di atas hanya valid dengan batasan rasio h/R tertinggi adalah 5,95%. Melalui regresi linear, setiap rasio h/R memiliki konstantanya masing-masing. Setelah menemukan persamaan umum yang memuaskan, penelitian ini dilanjutkan unutk mengekspresikan berbagai macam koefisien sebagai fungsi h/R hingga ditemukan ketebalan referensi dengan model CEVA sebagai berikut:

PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$y_{1/2} = h\left[\frac{6{,}473\ h/R}{5{,}9.10^{-2}+h/R\left[1+\left(\frac{h}{R}\right)/(1{,}3.10^{-2}\right]}\right].exp\left(k_1.\frac{C}{h}\right) \qquad (2.9)$$

Dengan konstanta k_1 :

$$k_1 = 1{,}62.10^{-2} + \frac{3{,}56.10^{-2}}{1+10^{\left[50{,}65(0{,}38-\frac{h}{R})\right]}} \qquad (2.10)$$

Pengembangan berikutnya dari model CEVA untuk variasi kecepatan lokal maksimal pada daerah dekat dengan *blowing slot*:

$$u_m = u_j\left\{-9{,}6.10^{-2} + 25{,}21\frac{h}{R} + 396\left(\frac{h}{R}\right)^2 + \frac{C}{h}\left[6{,}7.10^{-2} + 0{,}155\frac{h}{R} - 68\left(\frac{h}{R}\right)^2\right] + \left(\frac{C}{h}\right)^2\left[2{,}6.10^{-5} - 5{,}8.10^{-2}\frac{h}{R} + 3{,}1\left(\frac{h}{R}\right)^2\right]\right\} \qquad (2.11)$$

Dimana jarak dari *blowing slot* pada permukaan Coanda adalah:

$$C = x - x_0 \qquad (2.12)$$

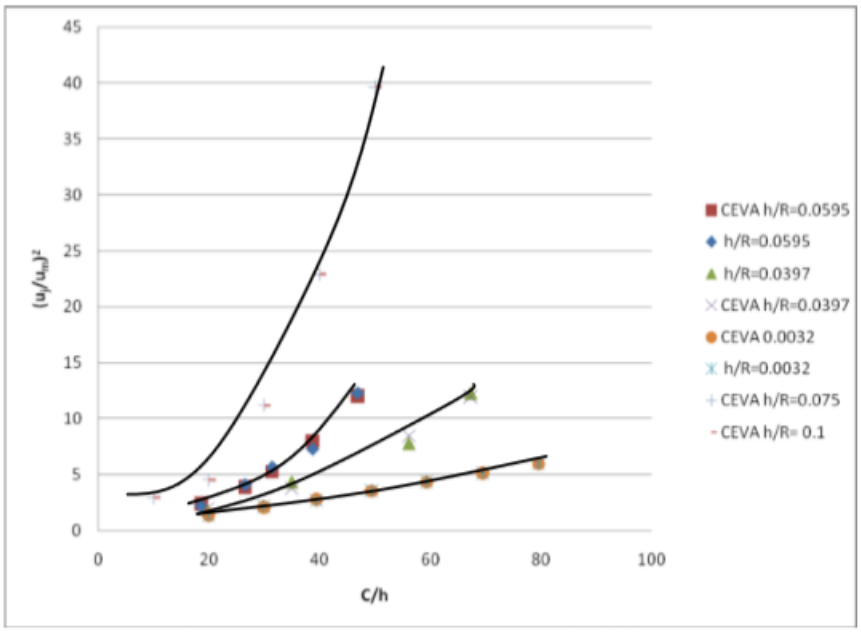
Selanjutnya dilakukan validasi model untuk mengetahui bagaimana model CEVA bekerja pada berbagai macam variasi rasio h/R.

II.2.1.1 Validasi Model CEVA

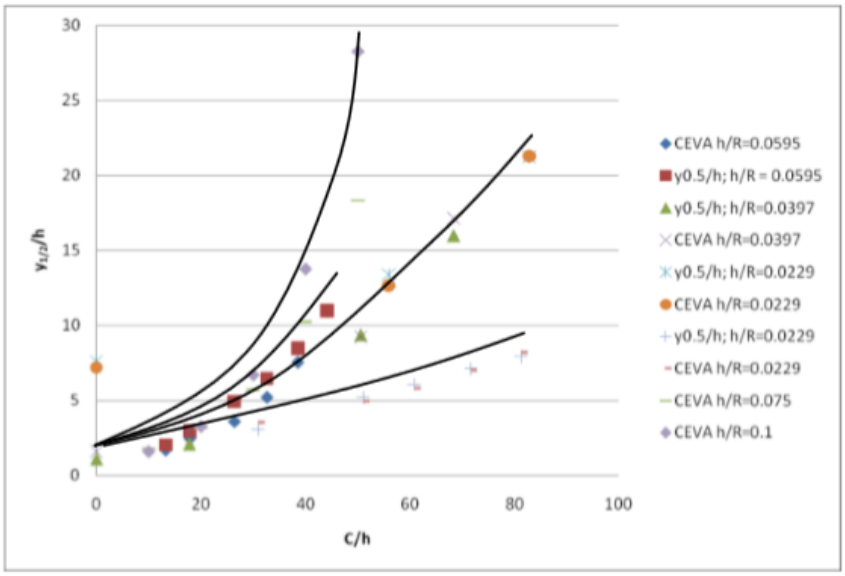
Perlu diingat bahwa permodelan CEVA dilakukan berdasarkan interpretasi dari data eksperimen. Pada kasus ini, ekspresi kuadratik ditemukan lebih cocok digunakan untuk menampilkan data.

Dapat dilihat dari Gambar II.17 bahwa pada rasio h/R yang sangat rendah, model CEVA menunjukkan prediksi hasil yang sangat serupa dengan hasil pada jet di permukaan datar (*plane wall jet)*. Hasilnya terlihat linear. Sedangkan pada rasio h/R yang tinggi, di atas 7,5%, hasilnya terentang menuju asimptot.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar II.16 Korelasi antara data eksperimen dengan model CEVA pada persamaan 2.11 [4].



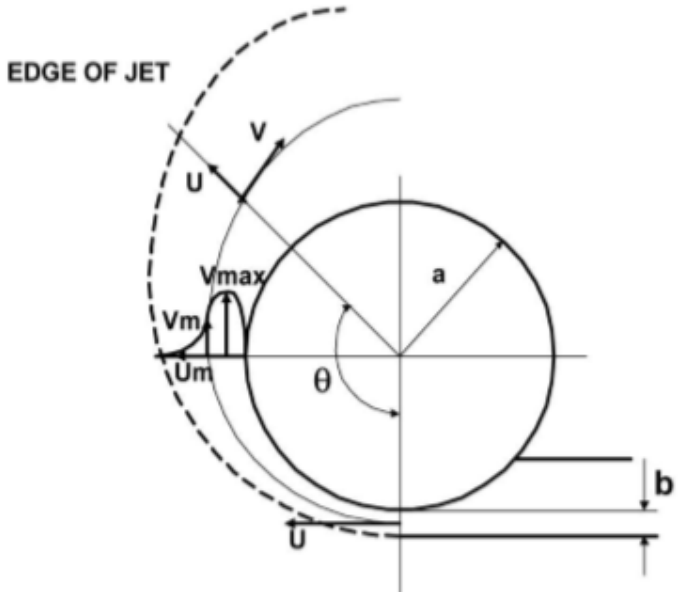
Gambar II.17 Korelasi antara data eksperimen dengan model CEVA pada persamaan 2.9 [4].

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET
FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tren ini membuat model ini dapat berguna bahkan pada rasio h/R lebih dari 6% dikarenakan hasil yang didapatkan tidak berfluktuasi terlalu jauh dari data yang dianggap valid. Hal ini berbeda dari asumsi awal. Berbeda dengan model RWR yang akhirnya disimpulkan hanya akurat sampai pada rasio h/R dengan besaran 10%.

II.2.2. Analisis Titik Separasi Model Newman

Penelitian yang Newman dipublikasikan pada tahun 1961 telah banyak dirujuk oleh banyak peneliti Efek Coanda sebagai model yang ampuh untuk memprediksi *separation point* dalam kondisi-kondisi tertentu, salah satunya adalah Michele Transcossi dalam karyanya yang dipublikasikan pada tahun 2012 [3].



Gambar II.18 Skema *setup* eksperimen Newman [3].

Newman menunjukkan bahwa tarikan dari Efek Coanda adalah konsekuensi langsung dari proses kesetimbangan gaya yang bekerja pada fluida. Dalam gerakan tarik menarik pada permukaan Coanda ini bekerja gaya sentrifugal dan tekanan radial. Ketika jet keluar dari *blowing slot*, tekanan kontak pada permukaan Coanda lebih rendah dari tekanan lingkungan akibat dari hambatan viskositas (*viscous drag*)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PENGARUH KECEPATAN JET SEKUNDER TERHADAP ALIRAN JET RESULTAN AKIBAT EFEK COANDA DALAM PENGARAH JET FLUIDIC COFLOW CONTROL
M HAIDAR RAZAN HILMI, Ir. Kutut Suryopratomo, M.T., M.Sc ; Dr.-Ing. Sihana
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dari interaksi antara fluida dengan permukaan yang dia lewati. Perbedaan tekanan ini yang menjadi penyebab utama tarik menarik antara jet dengan permukaan Coanda. Tekanan permukaan sepanjang permukaan meningkat dan perlahan-lahan mengimbangin tekanan lingkungan. Pada kondisi inilah terjadi pelepasan antara jet dengan permukaan Coanda.

Bradshaw menjelaskan Efek Coanda sebagai aliran fluida tanpa rotasi dengan viskositas diabaikan (*inviscid irrotational flow*). Dengan asumsi bahwa aliran fluida adalah *inviscid*, persamaan untuk menjelaskan perilaku tekanan dari aliran dapat diturunkan dari persamaan Bernoulli:

$$p_0 = p_\infty - \frac{\rho.U^2.b}{a} \tag{2.13}$$

Dimana:

- p adalah densitas dari fluida jet.
- U adalah kecepatan rata-rata.
- b adalah ketinggian celah *blowing slot*.
- a adalah radus dari permukaan Coanda.

Properti dari persamaan ini dan berikutnya dapat dikenali dengan melihat *setup* eksperimen Newman pada Gambar II.18.

Tekanan dari fluida *inviscid* akan lebih rendah dari tekanan lingkungan sampai pada keadaaan:

$$\frac{\rho.U^2.b}{a} \leq p_\infty \tag{2.14}$$

Ekspresi ini sangat berguna untuk menentukan pendekatan awal. Pada aliran viskos sebenarnya, menempelnya jet dengan permukaan Coanda menyebabkan meningkatnya ketebalan jet seiring dengan semakin lamanya kontak dengan disertai penurunan kecepatan rata-rata akibat dari gradien tekanan yang tidak diinginkan.