



UNIVERSITAS INDONESIA

Pengaruh Pemberian *Dimple* Pada Permukaan *Blade* Terhadap Performa Aerodinamis Aksial Fan.

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Syofwan Aldia

06 06 07 7913

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN

DEPOK

JUNI 2010

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Syofwan Aldia

NPM : 06 06 07 7913

Tanda Tangan :

Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Syofwan Aldia

NPM : 06 06 07 7913

Program Studi : Teknik Perkapalan

Judul Skripsi : Pengaruh Pemberian *Dimple* Pada Permukaan *Blade*
Terhadap Performa Aerodinamis Aksial Fan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Sc, M. Eng ()

Penguji : Ir. Sunaryo, Ph.D ()

Penguji : Ir. M. A. Talahatu, M.T ()

Penguji : Ir. Mukti Wibowo ()

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, atas berkat rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat waktu. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Perkapalan pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Sc, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Ir. Sunaryo, Ph.D, Ir. M. A. Talahatu, M.T, Ir. Hadi Tresno Wibowo, dan Ir. Mukti Wibowo selaku dosen pada program studi Teknik Perkapalan yang telah menularkan ilmu dan pengalamannya.
3. Ibunda dan Ayahanda tercinta, yang selalu memberikan dukungan moral kepada penulis dan dengan doa keduanya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas Akhir ini penulis persembahkan pada keduanya.
4. Kakak Ikhwan Afdilla dan Adik Nurul Hidayati, yang telah menginspirasi penulis untuk memberikan yang terbaik dalam penulisan tugas akhir ini.
5. Teman-teman Teknik Perkapalan 2006, terutama yang sama-sama berjuang menyelesaikan tugas akhir pada tahun ini.
6. Para sahabat, teman dekat dan pihak-pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Akhir kata, semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah disebutkan di atas. Semoga skripsi ini membawa manfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, juni 2010

Syofwan Aldia

HALAMAN PERNYATAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang beretanda tangan di bawah ini:

Nama : Syofwan Aldia
NPM : 06 06 07 7913
Program Studi : Teknik Perkapalan
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Rights) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Pengaruh Pemberian *Dimple* Pada Permukaan *Blade* Terhadap
Performa Aerodinamis Aksial Fan”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal :

Yang menyatakan,

Syofwan Aldia

ABSTRAK

Kualitas aerodinamis dari perputaran aksial fan merupakan salah satu faktor yang dapat mengoptimalkan performa aksial fan. Aliran udara acak pada permukaan blade dapat mengganggu performa aerodinamis dari perputaran aksial fan. Aliran acak (*turbulent*) terbentuk karena terjadinya separasi udara pada permukaan blade yang memperbesar hambatan (*drag*) dan menurunkan dorongan udara dari perputaran aksial fan. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui perubahan karakteristik aliran udara setelah dilakukan modifikasi berupa penambahan dimple pada permukaan blade aksial fan. Dimple akan menghasilkan aliran *vortex* yang akan menambahkan energi kinetik untuk menekan separasi udara. Perubahan karakteristik aliran udara diketahui dengan pengukuran nilai dorongan dan kecepatan udara yang dihasilkan aksial fan. Nilai dorongan didapatkan dengan menempatkan sebuah model mobil, yang terinstal alat ukur *pull meter*, di depan aksial fan. Nilai kecepatan udara didapatkan dengan menempatkan *hot-wire* di depan aksial fan. Dalam pengujian dilakukan variasi sudut pemasangan blade dan posisi penempatan dimple. Variasi sudut pemasangan blade yaitu 15° , 20° , 25° , dan 30° .

Aksial fan optimal beroperasi pada sudut pemasangan blade 20° dan mengalami stall pada sudut yang lebih besar. Pada aksial fan yang telah ditambahkan dimple, terjadi peningkatan dorongan udara dan tekanan dinamis pada sudut sebelum terjadinya stall atau pada sudut 15° dan 20° . Dimana pada sudut 15° posisi penempatan dimple kedua mengalami peningkatan lebih besar dari posisi penempatan pertama. Dan pada sudut 20° penempatan dimple pertama mengalami peningkatan lebih besar dari penempatan dimple kedua. Sedangkan pada sudut 25° dan 30° dimple pada kedua posisi justru mengalami penurunan nilai dorongan dan tekanan dinamis. Hal ini menunjukkan bahwa posisi penempatan dimple yang optimal berbeda-beda sesuai sudut pemasangan blade karena separasi udara terjadi pada area yang berbeda-beda juga

Kata kunci: performa aerodinamis, aksial fan, separasi udara, *vortex*

ABSTRACT

Aerodynamic qualities of the axial fan rotation is one of factor that can optimize the performance of axial fans. Turbulence flow on the blade surface can disturb the aerodynamic performance of axial fan rotation . Turbulence flow occur by air separation on the blade surfaces that increase drag and a decrease lift of axial fan rotation . The purpose of this study is to determine changes in air flow characteristics after placed dimples on the blade surface of the axial fan. Dimple create vortex flow that will add kinetic energy to suppress air separation. Characteristics of air flow is known by measure air thrust and air velocity of axial fan. Air thrust is obtained by placing a car model, is installed pull-meter, in front of the axial fan. Air velocity is obtained by placing a hot-wire in front of the axial fan . The experiment is doing by variation of blade angle and placement position of dimples. Blade angle is varied at 15°,20°,25°,30°.

Axial fan operate at optimum blade angle 20 ° and having a stall at a greater angle. In the axial fan has been added dimples, air velocity and thrust is improve at angle before stall occurs or at 15 ° and 20 °. At blade angle 15 °, second dimple placement position has increased greater than the first placement position. And at angle 20 °, first dimple placement position was increased greater than the second dimple placement. While at angle of 25 ° and 30 °, dimple at both positions has decreased air velocity and air thrust. This shows that the optimal dimple placement positions vary according to the installation of blade angle. It cause by air separation occurs in different areas at any blade angle.

Keywords: aerodynamic performance, aksial fan, flow separation, *vortex*

DAFTAR ISI

	halaman
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	i
PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	01
1.2 Tujuan Penelitian	03
1.3 Metode Penelitian	03
1.4 Batasan Penelitian	04
1.5 Metode Penulisan	04
1.6 Sistematika Penulisan	05
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Teori <i>Fan</i>	07
2.1.1 Karakteristik fan	08
2.1.2 Konsep tekanan pada fan	10
2.1.3 Hukum fan	13
2.2 Karakteristik Aliran Udara pada Aksial Fan	14
2.1.2 Multiwing aksial fan jenis <i>airfoil</i>	14
2.2.2 <i>boundary layer separation</i>	17
2.2.3 Distribusi dan komponen kecepatan udara pada <i>airfoil</i> aksial fan	20
2.2.4 parameter karakteristik aliran udara aksial fan	24
2.3 Penerapan <i>Dimple</i> pada <i>Airfoil Body</i>	25
2.3.1 Teori <i>dimple</i>	25
2.3.2 <i>Dimple</i> pada <i>airfoil blade</i>	26

BAB III DESKRIPSI ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN

3.1 Rancangan Alat Uji	.....	31
3.2 Peralatan Pendukung	.....	37
3.3 Kondisi Dalam Pengujian	.....	39
3.4 Prosedur Pengambilan Data	.....	40
3.5 Tahapan Pengujian	.....	41

BAB IV PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA

4.1 Perhitungan Data	.....	45
4.2 Pengolahan Data	.....	56
4.3 Analisis Data	.....	66

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN	.....	72
5.2 SARAN	.....	72

DAFTAR PUSTAKA	73
----------------	-------	----

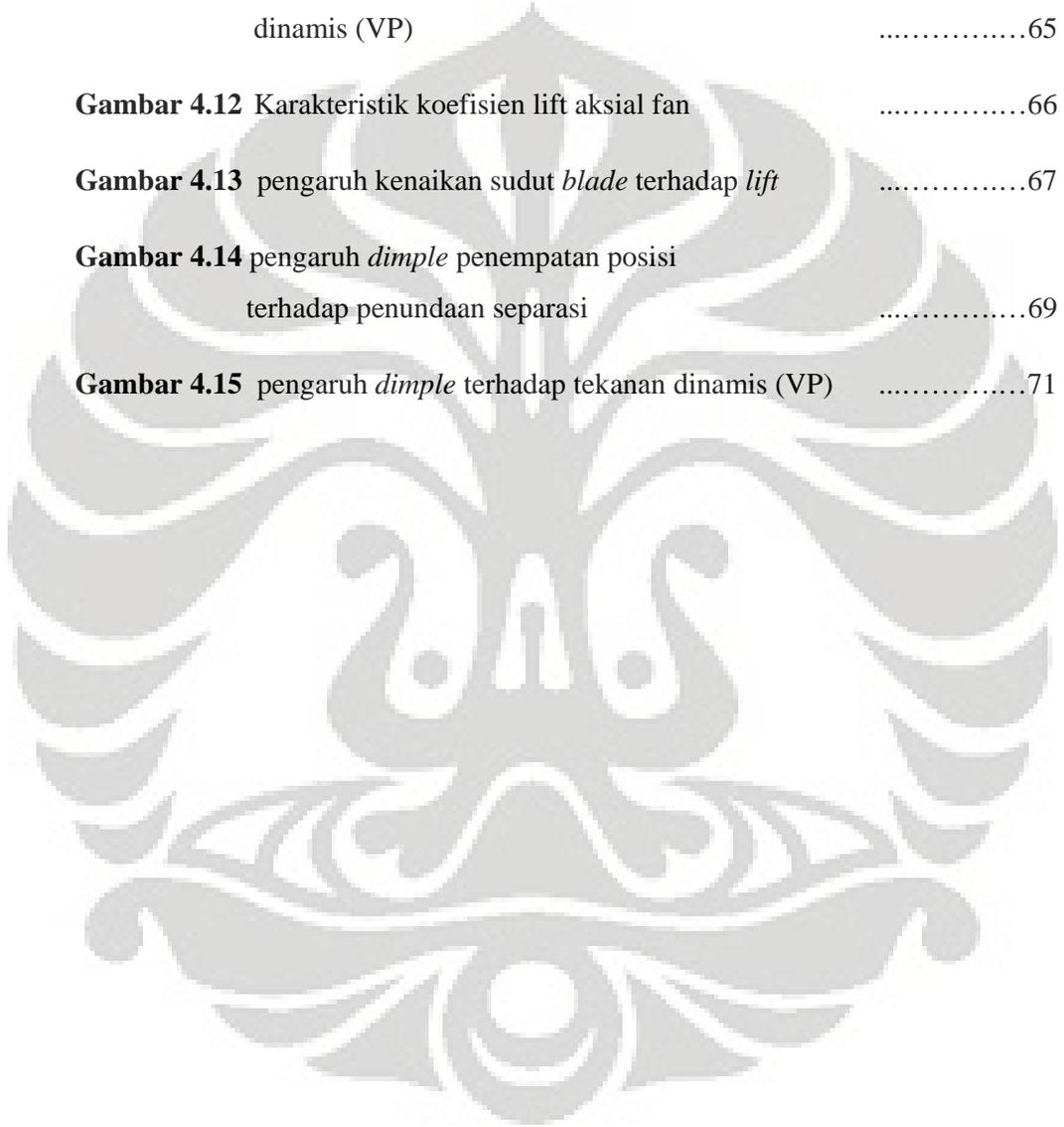


DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1 Arah udara pada sisi inlet dan outlet aksial fan	07
Gambar 2.2 Kurva karakteristik fan	08
Gambar 2.3 Kurva fan dan kurva resistansi sistem	09
Gambar 2.4 Kurva penurunan debit aliran (Q2 menjadi Q1)	10
Gambar 2.5 Skema perubahan tekanan pada perputaran aksial fan	12
Gambar 2.6 Hukum Fan	13
Gambar 2.7 Penampang <i>airfoil</i> blade	14
Gambar 2.8 Diameter hub dan diameter Tip	15
Gambar 2.9 Profile dimensi blade dan hub aksial fan	15
Gambar 2.10 Tipe formasi perputaran aksial fan	16
Gambar 2.10 Tahapan aliran pada <i>streamline body</i>	17
Gambar 2.11 Fenomena stall pada kecepatan putaran aksial fan konstan	19
Gambar 2.12 Pengaruh perubahan sudut pemasangan blade terhadap separasi udara	19
Gambar 2.13 Fenomena <i>Stall</i> (kurva koefisien lift vs sudut serang)	20
Gambar 2.14 Distribusi dan arah aliran udara sisi inlet dan outlet aksial fan	21
Gambar 2.15 Segitiga kecepatan udara pada sisi outlet aksial fan	22
Gambar 2.16 Segitiga kecepatan udara pada sisi inlet dan outlet aksial fan	23
Gambar 2.17 Perbedaan karakteristik aliran pada bola golf	25
Gambar 2.18 Perubahan tahapan aliran pada golf di udara	26
Gambar 2.19 Perubahan tahapan aliran udara pada permukaan bidang	27
Gambar 2.20 Separation point pada <i>airfoil surface</i>	28
Gambar 2.21 Penempatan <i>dimple</i> pada <i>airfoil</i> blade pada area maksimum camber	29

Gambar 2.22 Distribusi kecepatan sebelum dan setelah terjadi separasi udara	.....30
Gambar 3.1 Dimensi model mobil dan rancangan alat uji	.....32
Gambar 3.2 Tipe formasi dan jenis axial fan	.....33
Gambar 3.3 Diameter Hub dan diameter Tip	.....34
Gambar 3.4 Dimensi blade, boss, dan engine drive plat.	.....35
Gambar 3.5 Lapisan ber- <i>dimple</i> pada sisi hisap blade	.....35
Gambar 3.6 Lapisan tipis ber- <i>dimple</i> pada permukaan blade	.....36
Gambar 3.7 Spesifikasi mesin penggerak axial fan	.....37
Gambar 3.8 Rancangan alat uji dorongan	.....37
Gambar 3.9 <i>Pull meter</i>	.....38
Gambar 3.10 Ducting	.....39
Gambar 3.11 Posisi penempatan <i>dimple</i> pada area maksimum camber	.....41
Gambar 4.1 Perubahan nilai dorongan pada masing-masing sudut pemasangan <i>blade</i> sebelum pemberian <i>dimple</i>	.....50
Gambar 4.2 Perubahan nilai dorongan pada masing-masing sudut pemasangan <i>blade</i> untuk penempatan <i>dimple</i> 1	.....51
Gambar 4.3 Perubahan nilai dorongan pada masing-masing sudut pemasangan <i>blade</i> untuk penempatan <i>dimple</i> 2	.....51
Gambar 4.4 Pengaruh penempatan <i>dimple</i> 1 terhadap perubahan dorongan	.....52
Gambar 4.5 Pengaruh penempatan <i>dimple</i> 2 terhadap perubahan dorongan	.....52
Gambar 4.6 Pengaruh penempatan <i>dimple</i> terhadap perubahan dorongan	.....53
Gambar 4.7 pengaruh penempatan <i>dimple</i> terhadap perubahan nilai kecepatan	.....58

Gambar 4.8 Debit vs tekanan statis (catalog London fan)	.....60
Gambar 4.9 Tekana statis pada diameter beberapa fan	.....61
Gambar 4.10 Karakteristik koefisien lift aksial fan	.....63
Gambar 4.11 pengaruh penempatan <i>dimple</i> terhadap perubahan nilai tekanan dinamis (VP)	.....65
Gambar 4.12 Karakteristik koefisien lift aksial fan	.....66
Gambar 4.13 pengaruh kenaikan sudut <i>blade</i> terhadap <i>lift</i>	.....67
Gambar 4.14 pengaruh <i>dimple</i> penempatan posisi terhadap penundaan separasi	.....69
Gambar 4.15 pengaruh <i>dimple</i> terhadap tekanan dinamis (VP)	.....71



DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 4.1 Data hasil penelitian pada sudut pemasangan <i>blade</i> 15°	45
Tabel 4.2 Data hasil penelitian pada sudut pemasangan <i>blade</i> 20°	46
Tabel 4.3 Data hasil penelitian pada sudut pemasangan <i>blade</i> 25°	47
Tabel 4.4 Data hasil penelitian pada sudut pemasangan <i>blade</i> 30°	48
Tabel 4.5 Data perubahan nilai dorongan pada masing-masing sudut pemasangan <i>blade</i>	49
Tabel 4.6 Data perubahan nilai dorongan (dalam%)	50
Tabel 4.7 Data kecepatan arah aksial	55
Tabel 4.8 Data kecepatan arah aksial pada n_1 dan RPM1	56
Tabel 4.9 Data koefisien lift C_l terhadap kenaikan sudut <i>blade</i> θ	57
Tabel 4.10 Data perubahan V_a setelah dimple	58
Tabel 4.11 Data debit aliran sebelum dimple (Q)	60
Tabel 4.12 Data debit aliran pada diameter berbeda	61
Tabel 4.13 Data hasil interpolasi nilai SP pada diameter 480mm	61
Tabel 4.14 nilai kecepatan arah tangential	62
Tabel 4.15 nilai sudut serang α	62
Tabel 4.16 Koefisien lift pada komponen kecepatan udara helical	63
Tabel 4.17 V_1 sebelum dan sesudah pemberian dimple	64
Tabel 4.18 VP sebelum dan sesudah pemberian dimple	64
Tabel 4.19 Kesimpulan pengaruh <i>dimple</i> terhadap dorongan udara.....	68

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Peningkatan drag dan losses aliran pada perputaran aksial fan diakibatkan karena kuantitas aliran udara acak yang disebabkan oleh pemisahan aliran udara pada masing-masing permukaan *blade*-nya (*boundary layer separation*). Penelitian telah banyak dilakukan untuk meminimalisir efek tersebut dengan tujuan untuk mengoptimalkan performa aerodinamis dari perputaran aksial fan. Optimalisasi tersebut bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dalam penggunaan aksial fan untuk berbagai keperluan.

Pada dasarnya, debit, kecepatan aliran, gaya dorong, dan efisiensi putaran (RPM) merupakan karakteristik performa dari sebuah aksial fan. Debit aliran (*air flow*) dijadikan sebagai parameter penentu performa dari aksial fan, terutama dalam sistem ventilasi dan pendinginan. Sedangkan gaya dorong dijadikan parameter performa aksial fan yang digunakan sebagai tenaga penggerak, contohnya aksial fan pada hovercraft. Kurang optimalnya debit dan gaya dorong udara yang dihasilkan dari perputaran aksial fan tersebut diakibatkan oleh adanya *losses* aliran dan *drag* yang terjadi akibat separasi udara pada permukaan *blade*.

Optimalisasi performa aerodinamis dilakukan dengan memperbaiki aliran udara yang melewati balde dari aksial fan. Untuk tujuan tersebut, para peneliti telah menemukan berbagai cara yang terbukti efektif dalam peningkatan performa aerodinamis dari aksial fan. Diantaranya dengan melakukan perbaikan bentuk blade dengan cara merubah bentuk awal blade menjadi bentuk yang lebih efektif, contohnya penelitian oleh Soderman,¹⁷⁹⁴ yang telah membuktikan bahwa dengan merubah bentuk leading edge dari blade menjadi bergerigi (*serration*) menciptakan pusaran (*vortex*) yang meningkatkan gaya angkat (*lift*) dan mengurangi *drag* pada sudut pemasangan blade yang besar. Selain perubahan bentuk blade, cara lain yang juga telah terbukti adalah dengan teknik *self induced blowing* dengan cara menambahkan *internal flow* pada blade yang berhasil dalam mengontrol separasi pada *trailing edge* dengan tambahan energi kinetik dari *internal flow* tersebut. Cara-cara diatas tergolong agak susah dan kurang ekonomis karena harus melakukan

perubahan bentuk blade dan penambahan perangkat untuk menghasilkan *internal flow* yang diinginkan. Untuk itu, cara yang lebih efektif dilakukan dengan memodifikasi permukaan blade dengan cara pemberian indentation berupa *dimple* seperti pada permukaan bola golf. *Dimple* tersebut ditempatkan pada area terjadinya separation pada permukaan blade. *Dimple* berfungsi sebagai *vortex generator* yang akan memberikan tambahan energi kinetik pada lapisan udara di permukaan blade sehingga akan menekan separasi ke arah *trailing edge* dari blade.

Aplikasi *dimple* pada permukaan blade ini telah diteliti sebelumnya oleh Belahdy, 2001 dan Anthony C. Occhipinti, 1995. Belahdy melakukan penelitian pada fan sistem pendingin komponen elektronik seperti pada computer. Penelitian oleh Belahdy menyimpulkan bahwa dengan pemberian kekasaran berupa *dimple* atau benjolan pada permukaan blade dapat meningkatkan performa dari pergerakan udara yang dihasilkan perputaran aksial fan. Hal ini terjadi karena kekasaran pada permukaan blade dapat menghasilkan *vortex* yang dapat menunda terjadinya separasi, sehingga meningkatkan kecepatan rotasi (RPM) fan, memungkinkan pengoperasian blade pada sudut pemasangan blade yang lebih besar dan menahan tekanan yang menyebabkan *stall* pada blade yang biasa. Sedangkan C. Occhipinti melakukan percobaan pada 2 buah fan dengan masing-masing 2 blade berukuran 10/6 (10 inci diameter dan 6 inci pitch). Blade pada fan 1 dibiarkan rata dan blade pada fan 2 ditambahkan indentation berupa *dimple* berukuran diameter 1/16 inci, kedalaman 0.015 inci, dan jarak antara *dimple* 1/8 inci pada area maksimum camber pada sisi hisap (*suction side*) blade, dimana merupakan area tempat terjadinya *dimple*. *Dimple* pada permukaan blade tersebut memanjang dari hub ke tepi luar dari blade. Pengujian dilakukan dengan mengukur nilai dorongan dan rotasi dari aksial fan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan pemberian aplikasi *dimple* pada blade menghasilkan dorongan 14 % lebih besar dan keuntungan rotasi sebesar 14 rpm dibanding aksial fan yang rata pada input energi yang sama. C. Occhipinti melakukan penyederhaan dalam pengujiannya dimana permukaan blade dilapisi terlebih dahulu dengan lapisan tipis, sebagai objek yang di-*dimple*, guna untuk memudahkan penelitiannya.

Sesuai dengan perkembangan bentuknya, blade jenis *airfoil* menjadi pilihan untuk berbagai keperluan karena memiliki bentuk aerodinamis yang bagus. Alian

acak yang terjadi pada sisi hisap (suction side) dari *balde* jenis *airfoil* terjadi karena pemisahan aliran udara pada permukaan *balde* atau yang dikenal dengan *boundary layer separation*. Aliran acak tersebut akan mengganggu aliran pada *blade* selanjutnya sehingga meningkatkan hambatan (drag) pada perputaran aksial fan. Hal tersebut berdampak pada tidak optimalnya banyak putaran per menit (RPM) dari aksial fan sehingga debit (cmf) dan dorongan yang dihasilkan juga tidak optimal. Selain itu fenomena *Stall* yang terjadi karena diperbesarnya sudut pemasangan *blade* yang mengakibatkan dominanya aliran acak oleh sepaasi juga berperan dalam mengurangi dorongan aliran udara dan meningkatnya drag dari perputraan propeller.

1.2 TUJUAN PENULISAN

Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk mengetahui perubahan karakteristik aliran udara yang dihasilkan perputaran aksial fan jenis *airfoil* setelah ditambahkan *dimple* pada masing-masing permukaan *blade*-nya. Nilai karakteristik aksial fan yang dimaksud adalah nilai dorongan dan debit aliran (air flow), sudut optimal pemasangan *blade* (θ), nilai koefisien lift (*Cl*), nilai tekanan statis(SP) dan dinamis (VP), kecepatan udara *helical* (V_1) dan kecepatan realtif udara (W) yang dihasilkan aksial fan. Nilai-nilai tersebut akan dibandingkan sebelum dan sesudah penambahan *dimple* disetiap permukaan *bladenya*. Sehingga diharapkan aplikasi *dimple* tersebut dapat mengoptimalkan performa aerodinamis dari perputaran aksial fan, baik untuk keperluan pendinginan maupun untuk tenaga penggerak seperti pada hovercraft.

1.3 METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan penelitian secara langsung dimana sampel *blade* yang digunakan adalah tipe *airfoil* dengan merek *London fan*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai dari parameter yang diinginkan dengan cara mengukur secara langsung seperti nilai dorongan (dalam kg) yang terbaca oleh alat pull meter akibat dorongan udara aksial fan pada model yang diletakkan di depan aksial fan dan kecepatan aliran (dalam m/s) yang dihitung dengan menggunakan *hot wire*. Untuk mengetahui parameter lain seperti debit, coefisien lift, sudut serang udara, nilai tekanan statis dan dinamis, dan kecepatan

udara *helical*, dapat dihitung dengan formulasi-formulasi. Selanjutnya dilakukan variasi-variasi dalam pengambilan data, sehingga akan didapat karakteristik-karakteristik dan hubungan dari parameter-parameter tersebut seperti, pengaruh *dimple* terhadap sudut pemasangan *blade*, posisi *dimple* optimum, dan pengaruh *dimple* terhadap fenomena stall. Kemudian akan dilakukan analisis terhadap karakteristik dan hubungan tersebut.

1.4 BATASAN MASALAH

Penelitian ini hanya bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan nilai karakteristik performa aliran aksial fan berupa dorongan (trust) dan debit aliran (air flow), sudut optimal pemasangan *blade* (θ), nilai koefisien lift (*Cl*), nilai tekanan statis (SP) dan dinamis (VP), dan kecepatan realtif udara (*W*) setelah pemberian aplikasi *dimple* pada permukaan *blade* axial fan berbentuk airfoil. Analisis difokuskan pada hubungan nilai karakteristik diatas dengan variasi sudut pemasangan *blade blade* dan posisi penempatan *dimple* pada permukaan *blade*.

1.5 METODE PENULISAN

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis melakukan beberapa metode, yaitu:

1. Konsultasi dengan dosen pembimbing

Tujuan daripada konsultasi dengan dosen pembimbing untuk merumuskan tema yang akan dibahas dalam skripsi serta alat uji yang harus dibuat untuk mendukung penelitian pada tema skripsi tersebut dan memperoleh informasi mengenai dasar teori yang digunakan dalam pengolahan data yang akan dilakukan serta hasil yang hendak diperoleh dari penelitian tersebut.

2. Membuat alat uji di laboratorium

Membuat alat uji sesuai dengan rancangan awal yang telah dikonsultasikan dengan dosen pembimbing serta mengenai bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian tersebut.

3. Pengumpulan data

Data-data yang diperoleh dari penelitian tersebut selanjutnya dibandingkan dengan dasar teori yang telah dijelaskan oleh dosen pembimbing, data-data dan keterangan didapat dari studi percobaan (data percobaan), studi literature (dari sumber-sumber yang berhubungan dengan penelitian) serta melakukan diskusi dengan team skripsi dan dosen pembimbing.

4. Pengolahan data

Data mentah dari penelitian kemudian diolah untuk mengetahui hubungan karakteristik parameter dengan variabel dan data tersebut dimasukkan ke dalam persamaan-persamaan yang terdapat pada dasar teori untuk kemudian digunakan dalam melakukan analisis dan proses selanjutnya.

5. Analisis data

Data-data dari pengolahan digunakan untuk menganalisis nilai perubahan gaya dorong dan debit aliran dan mencari hubungannya dengan variasi sudut pemasangan *blade* dan posisi penempatan *dimple* pada permukaan *blade* aksial fan. Diharapkan dengan input energi yang sama, aplikasi *dimple* pada permukaan *blade* ini dapat mengoptimalkan performa aerodinamis dari aksial fan.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan tugas akhir ini meliputi beberapa bab, yaitu:

BAB I : Bab ini membahas mengenai latar belakang permasalahan, tujuan penelitian, metode penelitian, batasan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini, metode penulisan dalam hal ini bagaimana penulis mendapatkan informasi mengenai penelitian ini serta sistematika penulisan.

BAB II : Bab ini menjelaskan tentang landasan teori, jenis-jenis fluida, jenis aliran dalam pipa, sifat-sifat fluida, dan persamaan umum mekanika fluida.

BAB III : Bab ini menjelaskan tentang rancangan alat uji, peralatan-peralatan pendukung dalam pengujian, kondisi dalam pengujian serta prosedur pengujian dan pengambilan data.

BAB IV : Bab ini menjelaskan tentang pengolahan data, menampilkan data penelitian, grafik yang didapat dari pengujian, hasil dari pengujian serta analisis dari hasil penelitian.

BAB V : Bab ini merupakan bab penutup, pada bab ini diberikan kesimpulan serta saran seandainya penelitian ini akan dilanjutkan suatu saat sehingga memperoleh hasil yang lebih akurat.



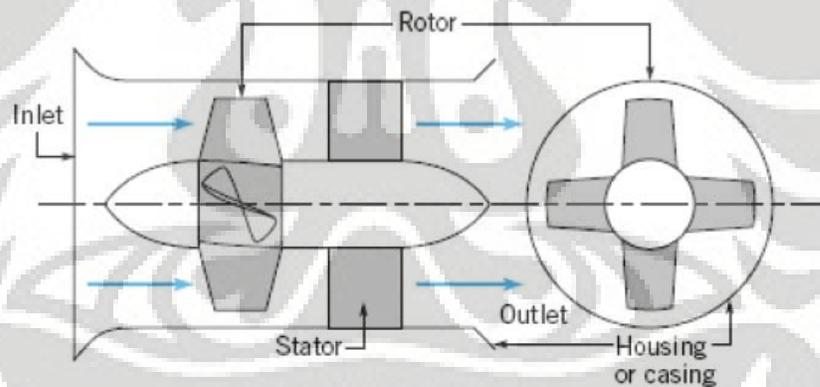
BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 TEORI FAN

Fan merupakan sebuah mesin turbo yang memindahkan fluida berupa gas (udara) pada arah aksial maupun radial. Fan memiliki karakteristik operasi kecepatan putar relatif rendah, mampu memindahkan fluida gas (udara) dalam volume besar, perubahan kerapatan gas melalui fan tidak lebih dari 7 %, sehingga dalam analisis kerapatan fluida dapat dianggap konstan.

Berdasarkan alirannya fan dapat diklasifikasikan sebagai aliran aksial, *mixed-flow*, dan aliran radial. Perbedaan klasifikasi aliran bergantung pada arah utama dari gerakan fluida relative terhadap sumbu rotor (hub). Pada aliran aksial, aliran fluida bergerak sejajar dengan sumbu rotor (hub), pada area inlet sampai outlet. Sedangkan pada centrifugal fan, aliran masuk sejajar dengan sumbu (hub) dan keluar pada arah radial.

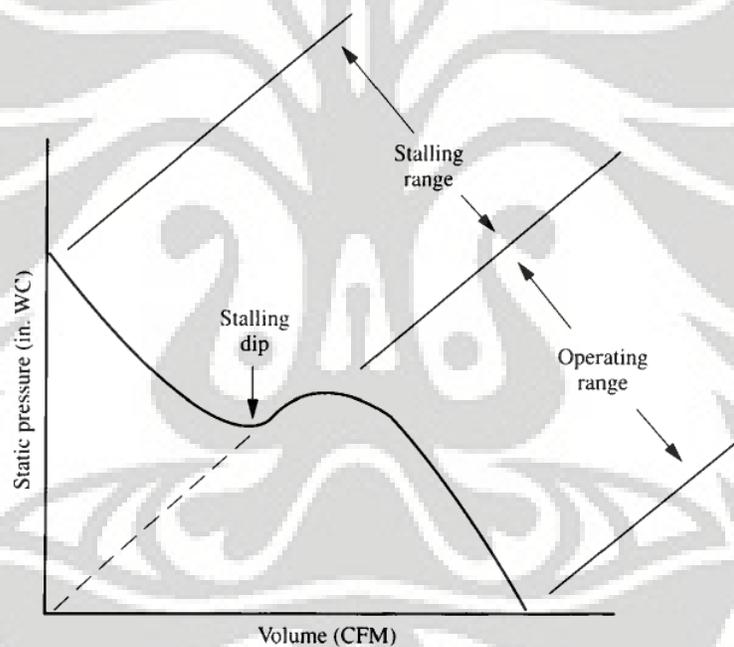


Gambar 2.1 Arah udara pada sisi inlet dan outlet aksial fan

Gambar diatas merupakan skematik dari arah aliran pada *axial fan* dimana aliran masuk pada arah aksial dan keluar fan pada arah yang aksial juga.

2.1.1 karakteristik fan

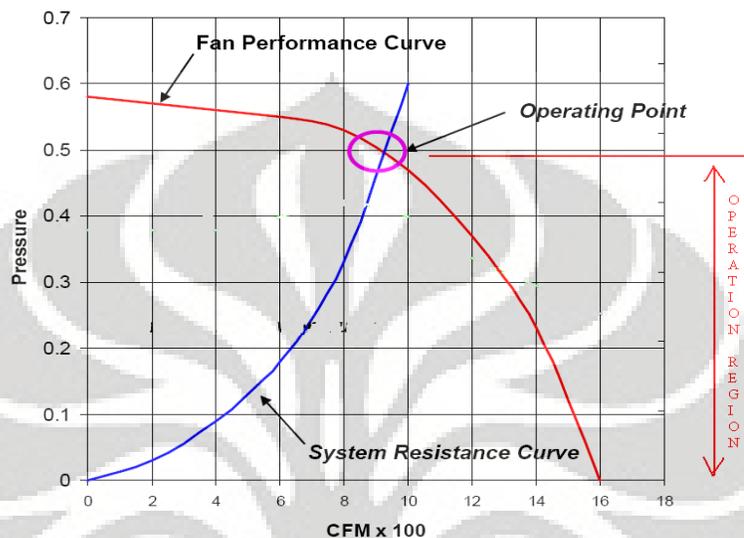
Karakteristik fan dapat dinyatakan dalam bentuk kurva fan. Kurva fan merupakan kurva kinerja untuk fan pada kondisi tertentu. Kurva fan yang digambarkan merupakan penggambaran grafik dari sejumlah parameter dari karakteristik fan. Pada umumnya kurva fan merupakan fungsi dari parameter debit aliran (Q) dan tekanan statis (SP). Tekanan statis (SP) merupakan tekanan yang dibutuhkan untuk menggerakkan udara didalam sebuah sistem. Untuk mengetahui daerah pengoperasian optimal dari fan di dalam sebuah sistem, biasanya kurva fan akan dibandingkan dengan kurva resisten sistem. Kurva sistem sendiri merupakan kurva yang menggambarkan jumlah kehilangan tekanan pada sistem seperti ; ducting, elbow, damper, filter dan sisitem lainnya.



Gambar 2.2 kurva karakteristik fan

kurva diatas memperlihatkan karakteristik aliran udara dari fan pada putaran yang tetap, dimana fan optimal beroperasi pada area dimana *stall* belum terjadi. Setelah *stall* terjadi maka fan tidak lagi mampu untuk mempertahankan debit alirananya, sehingga dengan semakin berkurangnya debit maka tekanan statis juga akan berkurang. Kurva fan ini dijadikan patokan untuk mengetahui daerah pengoperasian dari fan. Sedangkan untuk pengoperasian fan di dalam sebuah

sisitem maka kurva fan akan dibandingkan dengan kurva resistan dari system. Berikut merupakan gambaran karakteristik fan dengan karakteristik sisitem di dalam satu kurva.

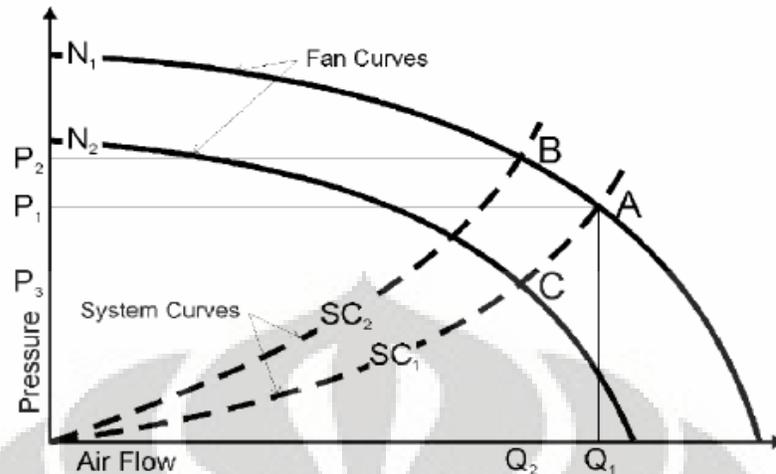


Gambar 2.3 Kurva fan dan kurva resistan sistem

Resistan pada sistem bervariasi pada kuadrat volume aliran, sehingga dengan meningkatnya debit aliran maka tekanan yang diterima sistem semakin besar. Kurva fan yang digambarkan di atas merupakan pada kondisi putaran tetap. Apabila putaran dari fan diturunkan maka tekanan statis dan debit juga akan berkurang. Debit aliran merupakan fungsi dari kecepatan aliran dan area dari fan, yang dinyatakan dengan rumus:

$$Q = V \times A \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

Terdapat dua cara untuk menurunkan debit aliran pada sistem. Cara pertama adalah dengan mengurangi kecepatan putaran dari fan, sehingga kecepatan udara yang dihasilkan juga berkurang. Sedangkan apabila kecepatan dijaga konstan maka debit aliran di dalam sistem dikurangi dengan membatasi aliran udara seperti dengan pemberian damper.



Gambar 2.4 kurva penurunan debit aliran (Q_2 menjadi Q_1)

Dua metode dapat digunakan untuk menurunkan aliran udara dari Q_1 ke Q_2 :

- membatasi aliran udara dengan menutup sebagian *damper* dalam sistim. Tindakan ini menyebabkan kurva kinerja sistim yang baru (SC_2) dimana tekanan yang dikehendaki lebih besar untuk aliran udara yang diberikan. Fan sekarang akan beroperasi pada "B" untuk memberikan aliran udara pada Q_2
- menurunkan kecepatan dari N_1 ke N_2 , menjaga *damper* terbuka penuh. Fan akan beroperasi pada "C" untuk

2.1.2 Konsep tekanan pada fan

Secara teoritis, aliran udara yang terjadi diantara dua daerah yang berbeda tergantung pada perbedaan nilai tekanan yang ada pada kedua zona tersebut. Perbedaan tekanan ini merupakan parameter yang memaksa sejumlah besar udara mengalir dari zona yang memiliki tekanan yang lebih tinggi ke zona dengan tekanan yang lebih rendah. Sebuah sistem fan menghasilkan energi dengan cara meningkatkan nilai perbedaan total pressure yang terdapat pada sisi inlet dan output sistemnya.

- ***Fan static pressure***

Tekanan statis (SP) merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui performa dari fan. Tekanan statis dibutuhkan untuk menggerakkan udara di sistem, dan proporsional terhadap nilai kuadrat dari

kapasitas yang diberikan. Tekanan statis bernilai negatif bila nilainya berada dibawah nilai tekanan atmosfer, dan bernilai positif ketika nilainya lebih dari tekanan atmosfer.

- **Fan velocity pressure**

Pada saat sistem diberikan kecepatan aliran (V), disamping tekanan dinamis maka secara bersamaan muncul velocity pressure atau tekanan dinamis yang mempengaruhi sistem. Tekanan dinamis (VP) untuk udara standar didefinisikan sebagai :

$$VP = \frac{1}{2} \rho V^2 \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

Nilai P_v selalu positif dan arahnya selalu berlawanan dengan arah aliran. Pada proses transfer energi ke fluida udara dari impeller menghasilkan kenaikan nilai static dan velocity pressure. Persamaan di bawah ini menunjukkan tekanan yang ditimbulkan akibat kecepatan udara yang diberikan di sistem pada sisi outletnya :

$$VP = \frac{\rho}{2} (Q_o/A_o)^2 \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana kecepatan udara sisi outlet adalah $V_o = Q_o \times A_o$

Dengan :

Q = debit aliran udara (ft^3/m) pada sisi outlet

A_o = luas area aliran pada sisi outlet (ft^2)

ρ = massa jenis udara (lbm/ft^3)

Untuk massa jenis udara standard yaitu $0,075 \text{ lbm}/\text{ft}^3$ maka nilai dari VP menjadi :

$$VP = \left(\frac{V}{4005} \right)^2 \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

- V = kecepatan udara sisi output (ft/m)
- VP = velocity pressure (inWC)

- **Fan total pressure**

Total pressure dari sistem adalah penjumlahan kedua nilai static dan velocity pressure tersebut :

$$TP = SP + VP \dots\dots\dots(2.5)$$

Fan total pressure adalah perbedaan nilai tekanan total yang terjadi antara sisi outlet dan sisi inlet fan.

$$TP = TP_o - TP_i \dots\dots\dots(2.6)$$

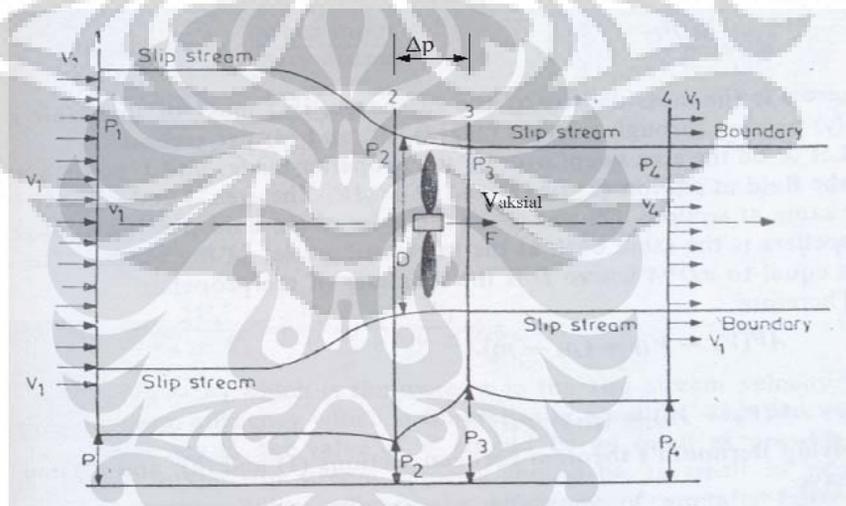
Ketika kondisi inlet fan dikondisikan dekat dengan tekanan atmosfer, maka

$$TP_i = 0 \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan nilai :

TP_o = rata-rata nilai velocity pressure pada sisi outlet

Berikut merupakan skema peningkatan tekanan pada fan jenis aksial atau aksial flow fan:

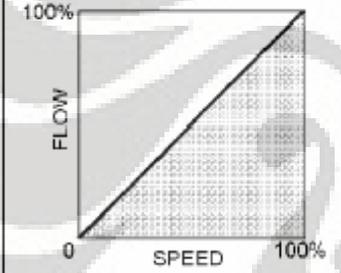
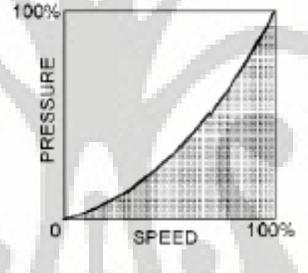
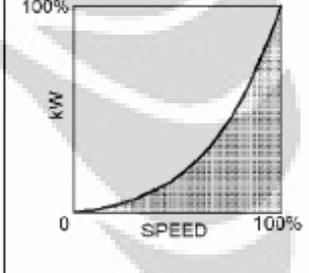


Gambar 2.5 Skema perubahan tekanan pada perputaran aksial fan

Skema diatas menggambarkan kondisi kenaikan tekanan yang terjadi pada aksial fan, pada area *upstream* (aliran sebelum memasuki fan) terjadi karena pergerakan udara dari P1 ke P2. Setelah memasuki fan terjadi kenaikan tekana dari P2 ke P3 karena perputaran dari fan. Kemudian udara akan didorong dari daerah tekanan tinggi P3 ke daerah tekanan rendah P4 .

2.1.3 Hukum fan

Nilai-nilai karakteristik dari fan seperti debit aliran, tekanan statis dan power merupakan fungsi dari kecepatan perputaran fan. Pengaruh perubahan kecepatan perputaran fan dapat dinyatakan pada gambar hukum fan berikut :

Flow \propto Speed	Pressure \propto (Speed) ²	Power \propto (Speed) ³
		
$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$	$\frac{SP_1}{SP_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$	$\frac{kW_1}{kW_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$
<i>Varying the RPM by 10% decreases or increases air delivery by 10%.</i>	<i>Reducing the RPM by 10% decreases the static pressure by 19% and an increase in RPM by 10% increases the static pressure by 21%.</i>	<i>Reducing the RPM by 10% decreases the power requirement by 27% and an increase in RPM by 10% increases the power requirement by 33%.</i>

Where Q – flow, SP – Static Pressure, kW – Power and N – speed (RPM)

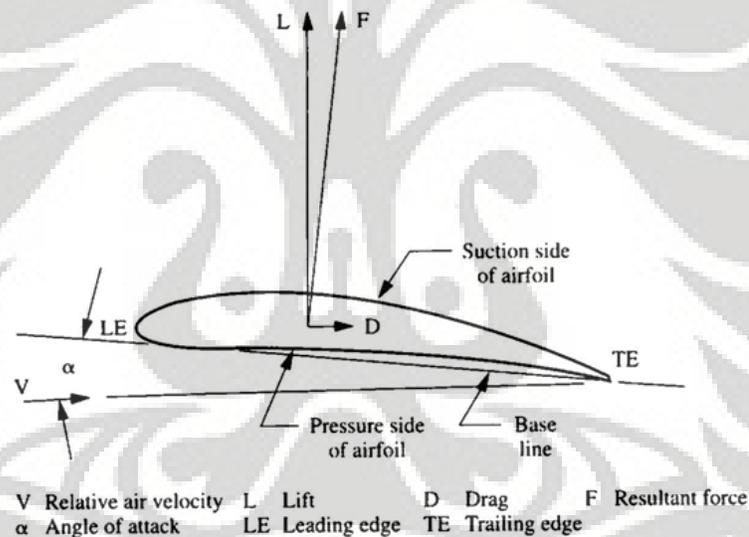
Gambar 2.6 Hukum Fan

Nilai dari debit aliran sebanding dengan kecepatan putaran. Nilai tekanan statis sebanding dengan kuadrat dari kecepatan putaran fan. Sedangkan power sebanding dengan kecepatan putaran pangkat tiga.

2.2 KARAKTERISTIK ALIRAN UDARA PADA AKSIAL FAN

2.1.2 Multiwing aksial fan jenis *airfoil*

Aksial fan yang biasanya digunakan untuk keperluan variasi sudut pemasangan dan jumlah blade adalah multiwing fan. Axial fan seringkali digunakan untuk kondisi operasi sistem yang membutuhkan debit aliran udara yang besar pada tekanan yang relatif rendah. Bentuk dari blade biasanya berbentuk *airfoil* untuk meningkatkan efisiensi dari fan. *Airfoil* blade mempunyai bentuk permukaan *streamline*. *Airfoil* blade berbentuk melengkung dari sisi leading edge ke trailing edge. Area dengan tebal lekungan terbesar disebut maksimum camber. Base line pada *airfoil* blade memanjang dari ujung trailing ke leading edge. Sudut serang udara pada blade (*angle of attack*, α) merupakan sudut antara baseline dengan arah kecepatan udara relative. Profil *airfoil* blade dapat dilihat pada gambar dibawah

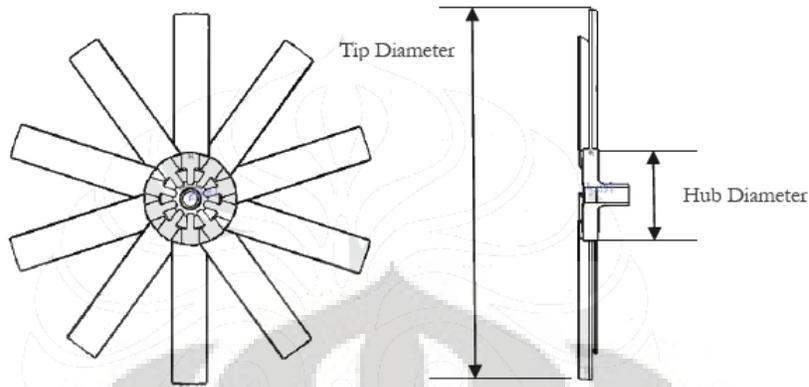


Gambar 2.7 penampang *airfoil* blade

- *Desain multiwing aksial fan*

Panjang dari datu blade aksial fan (l) merupakan pengurangan dari tip radius dengan hub radius atau

$$l = \frac{D_{tip} - D_{hub}}{2} \dots\dots\dots(2.8)$$



Gambar 2.8 Diameter hub dan diameter Tip

Pada hub terdapat pengunci leher blade yang dapat disesuaikan dengan sudut pemasangan blade yang diinginkan. Berikut merupakan profile dan dimensi blade dan hub untuk *airfoil* fan bermerek London fan.



THE LONDON FAN COMPANY

SAFETY

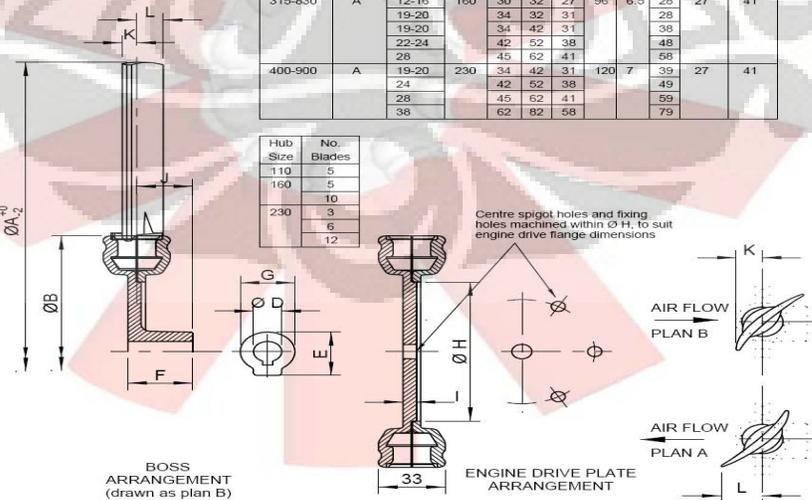
Impellers fitted to electric motors or engines fall within the scope of the Machinery Directive (89/392/EEC and amendments) and compliance with it is mandatory. It is essential that impellers are guarded and should only be operated within the specified speed and temperature limitations. Queries regarding the safe fitting and operating of impellers should be referred to The London Fan Company Ltd.

Note

General bore tolerance to BS1916. H8 and keyways to BS4235. This information should only be used as a guide. Certified dimensions can be supplied on request.

* K MAX and L MAX are for blade set at 40° pitch. For maximum overall width of impeller add K & J (plan A) or L & J (plan B)
 ** Special designed adaptor can be made to suit shafts upto Ø50mm, please refer to The London Fan Company.

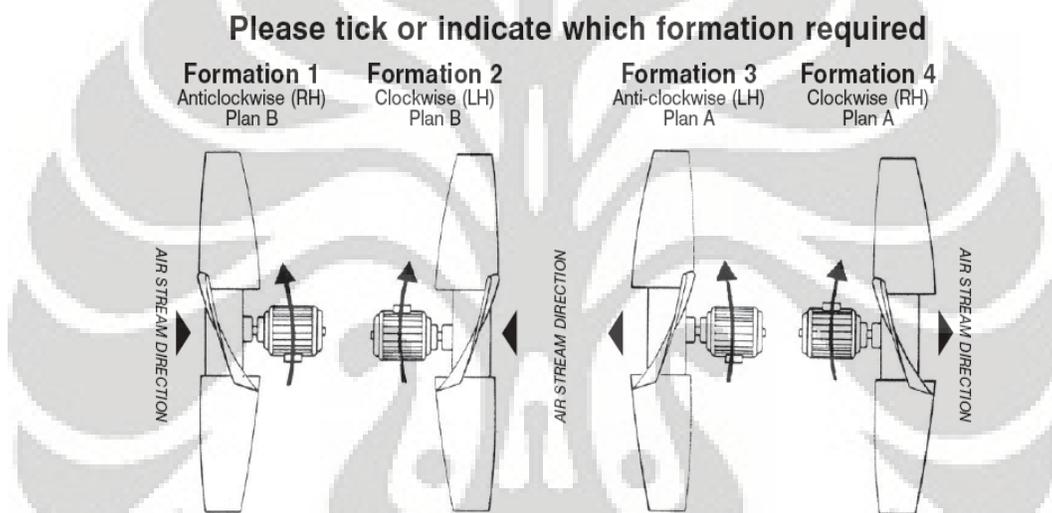
Diameter Range A	Blade Profile	** Size of Bores D	Dimensions*									
			B	E	F	G	H	I	J	K MAX	L MAX	
250-590	s	9.5-16	110	24	32	22	52	6	29	16	26	
		12-16		30	42	27			39			
		19-20	160	30	32	27	96	6.5	28	16	26	
		22-24		34	32	31			28			
315-640	s	12-16		34	42	31			38			
		19-20		42	52	38			48			
		22-24		45	62	41			58			
		28		62	82	58			79			
400-710	s	19-20	230	34	42	31	120	7	39	16	26	
		24		42	52	38			49			
		28		45	62	41			59			
		38		62	82	58			79			
250-590	B	9.5-16	110	24	32	22	52	6	29	21	34	
		12-16	160	30	32	27	96	6.5	28	21	34	
		19-20		34	32	31			28			
		22-24		34	42	31			38			
315-640	B	12-16		34	42	31			38			
		19-20		42	52	38			48			
		22-24		45	62	41			58			
		28		62	82	58			79			
400-710	B	19-20	230	34	42	31	120	7	39	21	34	
		24		42	52	38			49			
		28		45	62	41			59			
		38		62	82	58			79			
315-830	A	12-16	160	30	32	27	96	6.5	28	27	41	
		19-20		34	32	31			28			
		22-24		34	42	31			38			
		28		42	52	38			48			
400-900	A	19-20	230	34	42	31	120	7	39	27	41	
		24		42	52	38			49			
		28		45	62	41			59			
		38		62	82	58			79			



Gambar 2.9 Profile dimensi blade dan hub aksial fan

- *Tipe perputaran aksial fan*

Terdapat empat Tipe formasi pada aksial fan yang dibedakan menurut karakteristik perputaran dari motor penggerak dan arah dorongan udara yang diinginkan. Untuk perputaran motor penggerak searah jarum jam, maka aliran udara yang dihasilkan bisa berupa isapan dan dorongan, tergantung pada sudut serang pemasangan blade (d disesuaikan dengan kebutuhan). Sudut serang pemasangan blade harus mengikuti bentuk aerodinamis dari *airfoil* dimana sisi leading edge merupakan sisi serang dari blade atau kecepatan udara masuk pada blade berada pada sisi leading edge.



Gambar 2.10 Tipe formasi perputaran aksial fan

- *Pengaruh perubahan jumlah blade*

Jumlah blade yang digunakan akan mempengaruhi laju aliran, dimana dengan semakin ditambahnya jumlah blade maka debit aliran yang dihasilkan juga semakin besar. Perubahan debit aliran akibat penambahan atau pengurangan jumlah blade dapat dilihat pada rumus dibawah :

$$\text{Flow Change} = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + 6,5} \right) 100\% \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

n2 = jumlah blade setelah penambahan/pengurangan

n1 = jumlah blade awal

2.2.2 boundary layer separation

Tahapan aliran udara pada permukaan blade yang berbentuk *airfoil* adalah laminar, transition dan turbulen. Perubahan karakteristik aliran dari laminar ke turbulen ini diakibatkan oleh *boundary layer separation* atau berpisahya permukaan aliran udara dengan lapisan permukaan blade. Separasi aliran udara ini akan menyebabkan meningkatnya drag dan looses pada lift yang diakibatkan oleh kuantitas aliran acak oleh separasi yang mengakibatkan menurunnya performa pergerakan udara atau aerodinamis dari aksial fan.



Gambar 2.10 Tahapan aliran pada *streamline body*

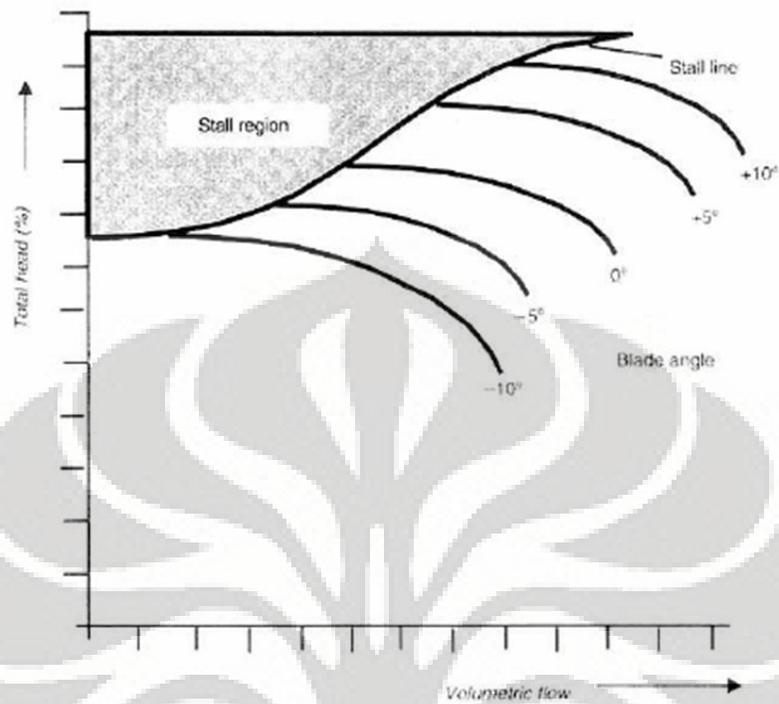
Perubahan karakteristik aliran dari laminar ke turbulen diawali dengan aliran transisi yang merupakan saat sebelum separasi akan terjadi. Aliran transisi pada *airfoil* biasanya terjadi pada area sekitar maksimum camber dari blade. Maksimum camber merupakan bagian tertebal pada penampang *airfoil* dari sisi leading edge ke trailing edge.

Daerah Separation pada boundary layer ini akan berubah-ubah sesuai sudut pemasangan blade. *Boundary layer separation* menjadi faktor yang menentukan posisi sudut yang optimal untuk menghasilkan performa maksimal dari aksial fan. Contohnya untuk posisi blade tanpa sudut atau sudut pemasangan blade 0° , gaya dorong udara yang dihasilkan akan kecil karena aliran pada area dorong dari fan pelan. Namun demikian, sudut yang kecil memberikan keuntungan dari segi aliran udara pada area hisap dari blade karena aliran udara laminar masih dominan dari

pada turbulen. Ini berarti tidak peningkatan *drag* yang dikarenakan oleh aliran acak juga bernilai kecil. Hal ini dikarenakan separasi udara terjadi lebih ke belakang ke arah trailing edge pada sudut serang udara yang kecil.

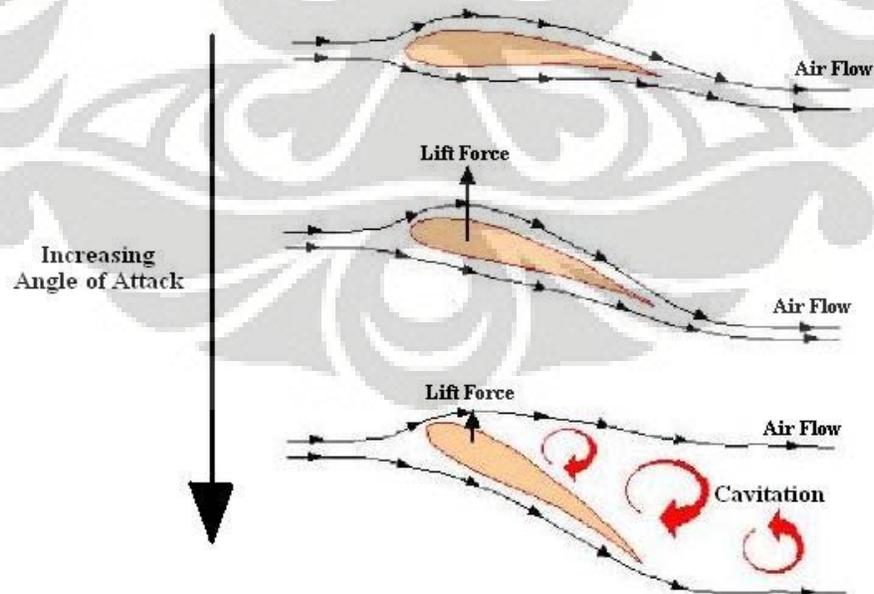
Dengan semakin diperbesarnya sudut pemasangan blade dari posisi 0° , maka akan meningkatkan gaya dorong dari udara yang dihasilkan karena sudut tangkap sisi dorong fan besar dan kecepatan aliran masuk juga meningkat. Sedangkan pada sisi hisap dari fan aliran acak akan meningkat karena separasi udara bergerak ke lebih depan dibanding sudut pemasangan blade sebelumnya yang mengakibatkan peningkatan *drag*. Namun, hal tersebut hanya akan berpengaruh kecil terhadap dorongan udara yang dihasilkan, karena kuantitas keacakan aliran masih bisa dilawan oleh perputaran aksial fan. Sampai pada sudut pemasangan blade tertentu akan terjadi sebuah fenomena yang umum disebut *stall*.

Stall pada aksial fan terjadi pada dua kondisi apabila kecepatan fan dijaga konstan. Pertama, apabila sudut pemasangan blade tetap, maka *stall* akan terjadi ketika aksial fan yang dihidupkan terus menerus tidak mampu lagi mempertahankan debit aliran range yang konstan dan terus mengalami penurunan secara bertahap (lihat gambar 2.11). Kedua, apabila sudut pemasangan blade terus dinaikan sampai titik sudut pemasangan tertentu (sudut pemasangan blade optimal) dengan penambahan besar sudut pemasangan, maka debit akan terus berkurang. Hal ini terjadi karena kuantitas aliran acak pada sisi hisap blade semakin membesar dan jauh lebih dominan dari pada aliran laminar. Aliran acak pada kuantitas besar tersebut tidak lagi mampu ditahan oleh aksial fan, sehingga *drag* akan terus semakin membesar. Sudut dimana terjadinya *stall* disebut sebagai sudut pemasangan blade optimal. Sudut pemasangan blade optimal ini tergantung pada bentuk atau profile dari blade. Pada bentuk *airfoil* sudut serang kritis terjadi diantara 8° - 25° .

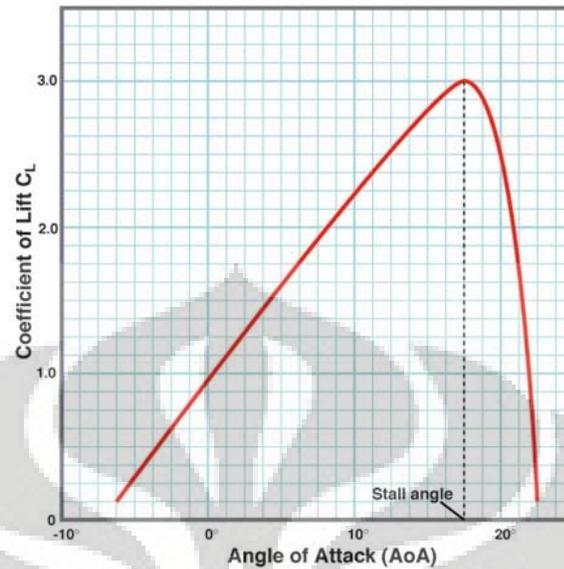


Gambar 2.11 Fenomena stall pada kecepatan putaran aksial fan konstan

Efek dari separasi udara yang menyebabkan terjadinya *stall* dapat dilihat pada gambar dibawah :



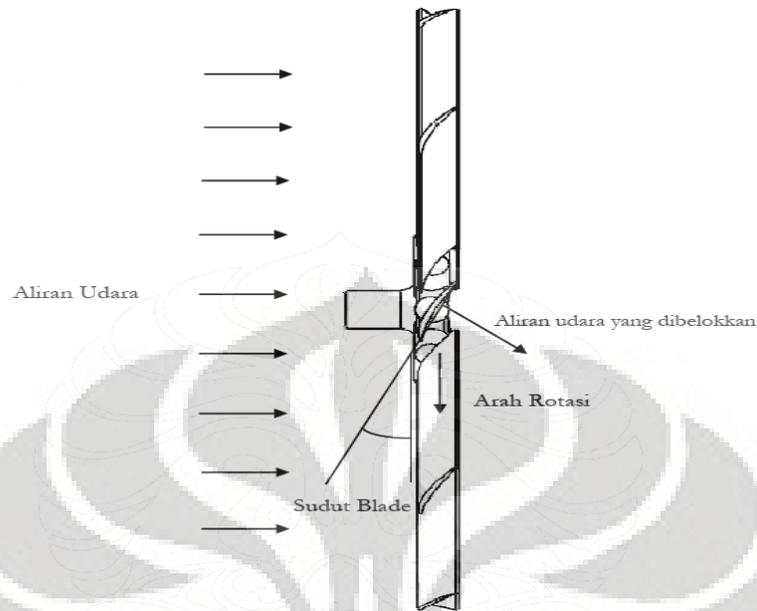
Gambar 2.12 Pengaruh perubahan sudut pemasangan blade terhadap separasi udara



Gambar 2.13 Fenomena *Stall* (kurva coefisien lift vs sudut serang)

2.2.3 Distribusi dan komponen kecepatan udara pada *airfoil* aksial fan

Aliran udara yang masuk menuju aksial fan (sisi inlet) merupakan aliran yang sejajar dengan sumbu putar fan. Pada sisi inlet tersebut, aliran yang mengalir sejajar sumbu putara akan dibelokanoleh blade fan dengan mekanisme putaran yang diberikan dari shaft (rotor) ke impeller (sudu). Aliran udara yang keluar pada sisi outlet berbentuk helical yang mempunyai komponen kecepatan aksial dan tangensial. Untuk efisiensi yang baik, aliran udara dari aksial fan terdistribusi secara merata pada area dari *blade* fan, hal ini berarti kecepatan aksial udara harus sama dari hub hingga tip.



Gambar 2.14 Distribusi dan arah aliran udara sisi inlet dan outlet aksial fan

Komponen kecepatan pada aksial fan terdiri dari kecepatan arah helical (V_1) dan kecepatan udara relatif terhadap blade (W). Pada komponen V_1 terdiri dari kecepatan udara arah aksial dan kecepatan udara arah tangensial. Sedangkan pada kecepatan udara relatif terhadap blade tidak hanya dipengaruhi oleh komponen kecepatan udara, namun juga dipengaruhi oleh kecepatan pada perputaran blade. Perbedaan kedua komponen kecepatan tersebut dapat dilihat dari rumus berikut :

$$V_1 = \sqrt{V_a^2 + V_r^2}$$

$$W = \sqrt{V_a^2 + (Vb \pm \frac{1}{2} V_r)^2} \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

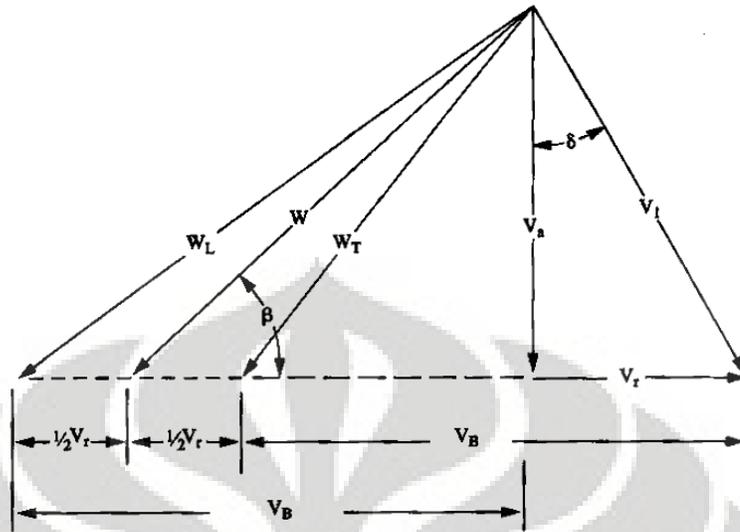
V_1 = kecepatan udara helical (ft/m)

W = kecepatan relatif terhadap blade

V_a = kecepatan arah aksial (ft/m)

V_r =kecepatan arah tangensial (ft/m)

V_b =kecepatan rotasi blade (ft/m)



Gambar 2.15 segitiga kecepatan udara pada sisi outlet aksial fan

Kecepatan rotasi blade (V_b) merupakan fungsi dari kecepatan perputaran dari aksial fan yang dapat diketahui melalui formula. Sedangkan kecepatan arah aksial merupakan fungsi dari debit aliran dan luas area dari aksial fan.

$$V_b = 2\pi r / 12 \times rpm \dots\dots\dots(2.11)$$

r = radius dari rotasi blade (in)

Sedangkan kecepatan arah aksial dan tangensial dapat dihitung dengan bantuan rumus berikut :

$$V_a = Q / A_o$$

$$V_r = \frac{233 \times 10^5}{rpm} \times \frac{SP}{r} \dots\dots\dots(2.12)$$

Q = debit aliran (ft^3/m)

A_o = luas annular area (ft^2)

SP = tekanan statis (inWC)

Luas area yang mendistribusikan udara (A_o) merupakan luar area pada aksial fan dan tidak termasuk luas pada hub(rotor).

$$A_o = \frac{(D^2 - d^2)}{576} \dots\dots\dots(2.13)$$

pada sisi outlet dari blade terlihat bahwa kecepatan udara keluar V_2 pada arah helical dan kecepatan udara relative terhadap blade (W_2) seperti terlihat pada gambar. Kecepatan udara arah helical terdiri dari komponen kecepatan aksial dan tangensial.

2.2.4 parameter karakteristik aliran udara aksial fan

Lift dan *drag* yang dihasilkan dari perputaran aksial fan dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut.

$$L = \frac{AV^2 cl}{844} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$D = \frac{AV^2 cd}{844} \dots\dots\dots(2.15)$$

Sehingga apabila nilai *Lift* dan *drag* diketahui maka nilai *coefisien lift* (Cl) dan *coefisien drag* (Cd) dapat dihitung.

$$cd = \frac{844D}{AV^2} \dots\dots\dots(2.16)$$

$$cl = \frac{844L}{AV^2} \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan :

L = lift (pound)

D = drag (pound)

V = kecepatan udara (ft/s)

Sedangkan nilai tekanan statis dapat dihitung melalui persamaan berikut :

$$SP = 3,43 \times 10^{-9} \times rpm \times Zb \times Cl \times l \times W \dots\dots\dots(2.18)$$

Sp = static pressure, inWC

Zb = jumlah dari blade

Cl = koefisien lift

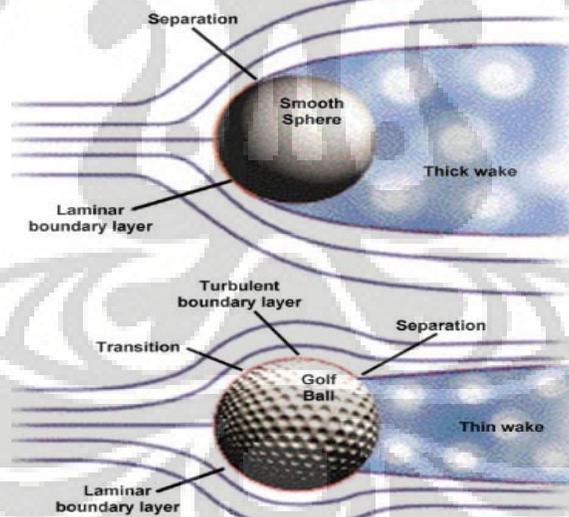
l = lebar dari blade (in)

W = kecepatan relatif udara terhadap blade (ft/m)

2.3 PENERAPAN *DIMPLE* PADA *AIRFOIL BODY*

2.3.1 Teori *dimple*

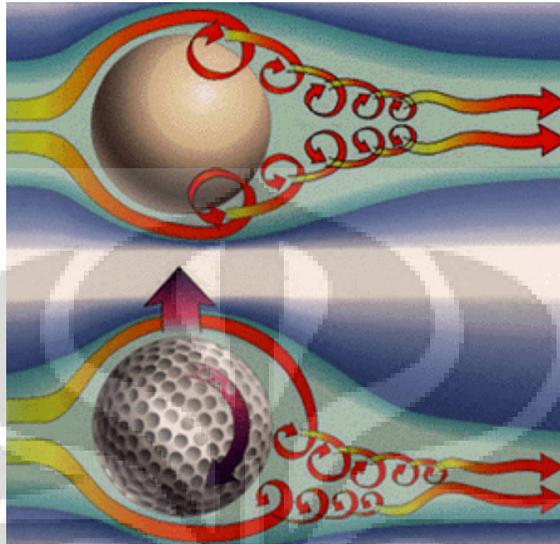
Dimple telah lama dikenal sebagai *device* yang sangat berguna untuk perbaikan karakteristik aerodinamis dengan cara menghasilkan vortex (vortex generator) pada aliran udara di permukaan sebuah benda. Aplikasi *dimple* yang terkenal adalah pada bola golf. *Dimple* pada bola golf telah berhasil meningkatkan performa pergerakan bola golf di udara. Hal ini dikarenakan *dimple* pada permukaan streamline bola golf menghasilkan vortex yang akan menambahkan energi kinetik untuk menekan atau menunda sepaasi aliran udara pada permukaan bola. Dengan ditekannya area separasi tersebut maka drag yang sebelumnya terjadi pada bola golf tanpa *dimple* dapat dikurangi. Selain itu vortex yang dihasilkan pada permukaan bola golf dapat meningkatkan laju pergerakan dari bola tersebut. Hal ini dapat dipaham melalui skema berikut.



Gambar 2.17 perbedaan karakteristik aliran pada bola golf

Wake yang merupakan faktor penyebab besarnya hambatan pada bola golf dapat dikurangi setelah pemberian *dimple* pada permukaan kulit bola. Skema diatas memperlihatkan karakteristik aliran ketika bola ditiupkan aliran udara. Untuk melihat efek *dimple* terhadap pergerakan bola golf di udara, dimana bola golf akan

melaju melalui sebuah lintasan dengan pergerakan rotasi dari bola golf tersebut, dapat dilihat melalui skema gambar berikut.

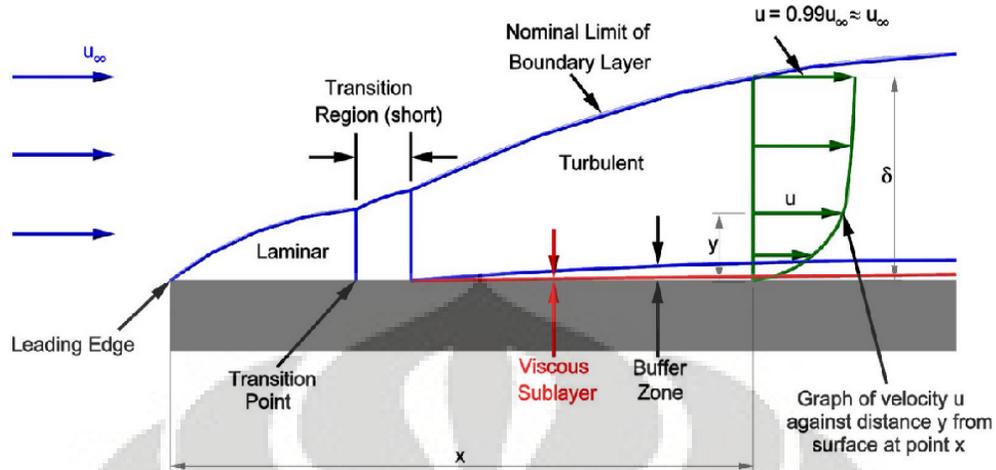


Gambar 2.18 Perubahan tahapan aliran pada golf di udara

Dari gambar diatas terlihat bahwa bola golf bergerak di udara dengan pergerakan rotasi, maka vortex yang diciptakan oleh *dimple* akan mendorong separasi terjadi lebih kebelakang dan kebawah mengikuti arah rotasi dari bola golf. Hal ini akan menyebabkan tambahan gaya angkat pada bola golf. Jadi selain dapat mengurangi drag dari bola golf, *dimple* juga dapat meningkatkan gaya angkat dari bola tersebut.

2.3.2 *Dimple* pada *airfoil blade*

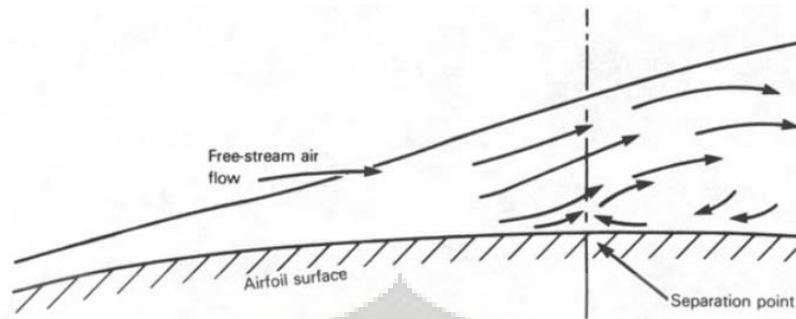
Dimple pada yang diterapkan pada permukaan sebuah benda, berfungsi sama seperti yang telah diterapkan pada bola golf. Namun bentuk bola golf yang bulat dan perputaran bola diudara menjadikan *dimple* berfungsi lebih optimal. Vortex yang dihasilkan oleh *dimple* bekerja sebagai energi kinetic yang akan menekan separasi udara sehingga separasi dapat ditunda.



Gambar 2.19 Perubahan tahapan aliran udara pada permukaan bidang

Apabila pada area sebelum separasi ditempatkan *dimple* maka aliran udara laminar pada permukaan yang akan mengalami separasi terlebih dulu akan melewati tekstur dari *dimple*, sehingga akan menghasilkan vortex yang berkerja sebagai energi kinetic yang akan menekan atau menunda separasi.

Aplikasi *dimple* pada permukaan *airfoil* terutama pada blade telah diteliti sebelumnya oleh Belahdy,2001 dan Anthony C. occhipinti, 1995. Belahdy melakukan penelitian pada fan sistem pendingin komponen elektronik seperti pada computer. Penelitian oleh Belahdy menyimpulkan bahwa dengan pemberian kekasaran berupa *dimple* atau benjolan pada permukaan blade dapat meningkatkan performa dari pergerakan udara yang dihasilkan perputaran aksial fan. Hal ini terjadi karena kekasaran pada permukaan blade dapat menghasilkan vortex yang dapat menunda terjadinya separasi, sehingga meningkatkan kecepatan rotasi fan, memungkinkan pengoperasian blade pada sudut pemasangn blade yang lebih besar dan menahan tekanan yang menyebabkan *stall* pada blade yang biasa.



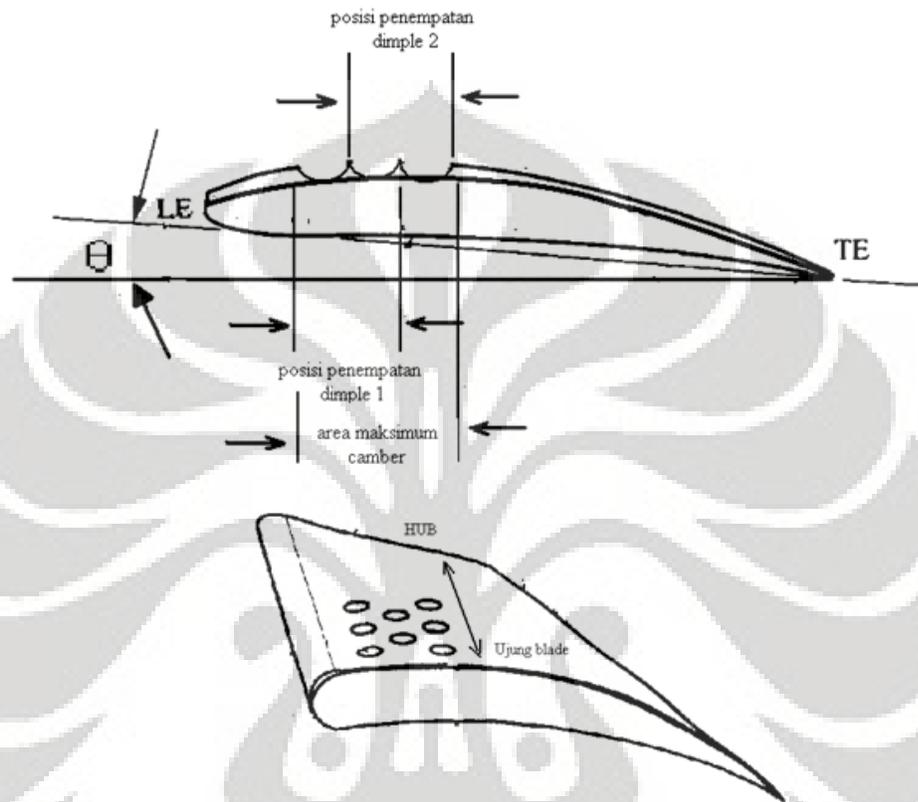
Separation of the boundary layer. (NASA TN-1384, 1947)

Gambar 2.20 Separation point pada *airfoil surface*

Sedangkan Anthony C. Occhipinti melakukan percobaan pada 2 buah fan dengan masing-masing 2 blade berukuran 10/6 (10 inci diameter dan 6 inci pitch). Blade pada fan 1 dibiarkan rata dan blade pada fan 2 ditambahkan indentation berupa *dimple* berukuran diameter 1/16 inci, kedalaman 0.015 inci, dan jarak antara *dimple* 1/8 inci pada area maksimum camber pada sisi hisap (suction side) blade, dimana merupakan area tempat terjadinya *dimple*. *Dimple* pada permukaan blade tersebut memanjang dari hub ke tepi luar dari blade. Pengujian dilakukan dengan mengukur nilai dorongan dan rotasi dari aksial fan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan pemberian aplikasi *dimple* pada blade menghasilkan dorongan 14 % lebih besar dan keuntungan rotasi sebesar 14 rpm dibanding aksial fan yang rata pada input energi yang sama. C. Occhipinti melakukan penyederhaan dalam pengujiannya dimana permukaan blade dilapisi terlebih dahulu dengan lapisan tipis, sebagai objek yang di-*dimple*, guna untuk memudahkan penelitiannya.

Aplikasi indentasi berupa *dimple* pada permukaan blade ini akan meningkatkan gaya dorong udara dan kecepatan udara pada masing-masing sudut pemasangan blade dengan penempatan posisi *dimple* pada area terjadinya separasi. Untuk masing-masing sudut pemasangan blade, penempatan posisi *dimple* optimum dalam peningkatan performa aerodinamis akan berbeda-beda. Hal ini dikarenakan area separation pada boundary layer juga berbeda-beda pada masing-masing sudut pemasangan blade. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya separasi biasanya terjadi pada area *maksimum camber* sepanjang permukaan blade dari hub hingga ke

tip. Oleh karena itu, maka *dimple* akan optimal ditempatkan pada area maksimum camber tersebut dengan beberapa variasi penempatan *dimple* ntuk mengantisipasi perubahan areaterjadinya separasi akibat perubahan sudut pemasangan blade.



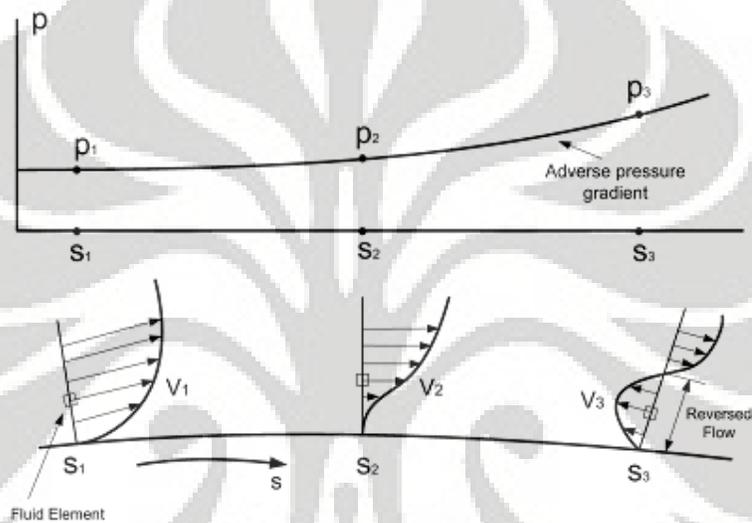
Gambar 2.21 Penempatan *dimple* pada *airfoil* blade pada area maksimum camber

Secara umum menurut penelitian yang telah dilakukan oleh C. occipinti, diameter *dimple* lebih besar dari sekitar 0,125 inci memberikan keuntungan tidak lebih dari diameter 1 / 8 inci dan diameter *dimple* harus tidak lebih keci dari 0,09375 inci. Umumnya kedalaman lubang yang bagus bernilai sekitar 0,015 inci atau berkisar antara 0,015 inci sampai 0,09375 inci.

$$D_{\text{dimple}} > 0,09375\text{in} \quad = \quad D_{\text{dimple}} > 2,38\text{mm}$$

$$0,015\text{in} < h_{\text{dimple}} < 0,09375\text{in} \quad = \quad 0,38\text{mm} < h_{\text{dimple}} < 2,38\text{mm}$$

Pada sebuah *airfoil* body atau bentuk lain dimana pergerakannya diudara hanya mengikuti sebuah lintasan tanpa ada pergerakan rotasi pada poros seperti pada bola golf, maka penempatan posisi *dimple* sangat mempengaruhi efek dari *dimple*. Contohnya pada blade jenis *airfoil* dengan lintasan mengikuti perputaran dari aksial fan dimana blade itu sendiri tidak berputar pada porosnya, maka penempatan *dimple* yang optimal berada pada area separasi terjadi yang biasanya terjadi pada area *maksimum camber* sepanjang permukaan blade dari hub hingga ke tip.



Gambar 2.22 Distribusi kecepatan sebelum dan setelah terjadi separasi udara

Penempatan posisi sebelum separasi terjadi pada *airfoil* blade dari aksial fan justru dapat menurunkan performa aerodinamis dari perputaran aksial fan. Hal ini terjadi karena *vortex* yang dihasilkan oleh *dimple* tidak akan berguna karena separasi belum terjadi dan *vortex* itu sendiri pada dasarnya merupakan aliran turbulen lemah (*low turbulent*), sehingga posisi *dimple* di depan area separasi akan menambah keacakan aliran. Sedangkan menurut C. occipinti, posisi *dimple* dibelakang area separasi tidak akan berpengaruh apa-apa, karena tidak ada aliran laminar yang akan melalui permukaan *dimple* akibat separasi telah lebih dulu terjadi.

BAB III

DESKRIPSI ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN

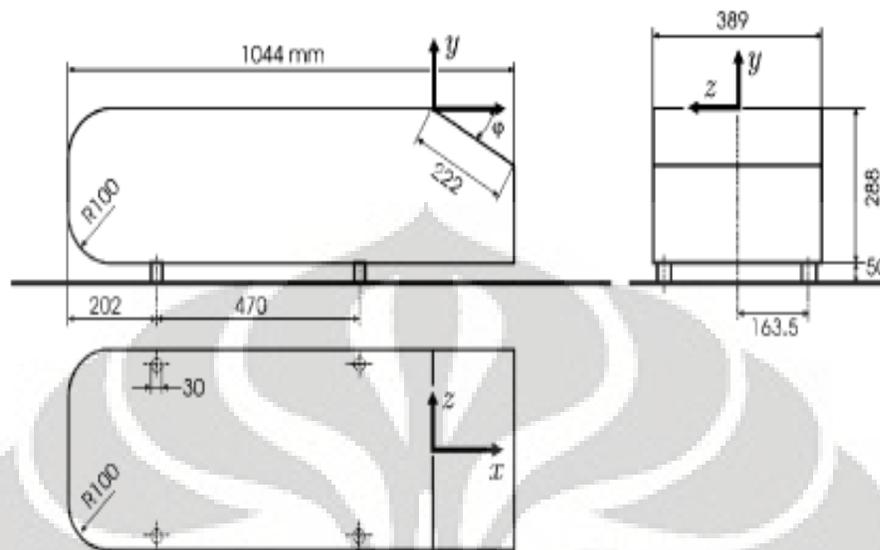
3.1 RANCANGAN ALAT UJI

Pada penelitian ini alat uji dirancang sendiri berdasarkan dasar teori dan pengalaman dari dosen pembimbing. Alat uji ini dirancang sebagai alat uji dengan skala laboratorium, yaitu penggunaan alat yang hanya ditunjukkan untuk penelitian dan pengambilan data parameter-parameter utama yang ingin diketahui.

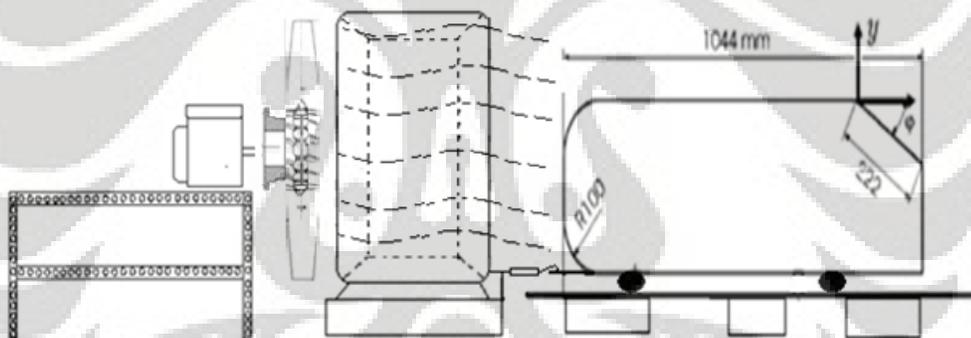
- Rancangan alat uji pengambilan data gaya dorong

Untuk pengambilan data parameter gaya digunakan model mobil yang ditempatkan di depan axial fan. Model mobil berfungsi sebagai media yang akan menerima gaya dorong udara yang dihasilkan dari perputaran axial fan. Model mobil ini terhubung dengan alat ukur *pull meter* yang akan membaca nilai dorongan (dalam gram) yang diterima oleh model mobil. Rancangan alat uji untuk pengambilan data gaya dorong dapat dilihat seperti gambar 3.1b, dimana sample model mobil ditempatkan persis di depan axial fan. Untuk dimensi model mobil juga dapat dilihat pada gambar 3.1a. Axial fan sendiri ditempatkan diatas dudukan berbahan besi dengan bentuk dan dimensi (lihat gambar 3.1) yang cukup kuat untuk menahan getaran motor yang berasal dari perputaran axial fan. Di depan axial fan terdapat ducting yang berfungsi untuk mengarahkan udara yang dihasilkan axial fan.

Pada saat axial fan diputar, maka dorongan yang dihasilkan dari perputarannya akan difokuskan oleh ducting dan kemudian akan menghasilkan gaya dorong pada model mobil di depannya. Nilai gaya dorongan tersebut akan terbaca oleh pull meter, dimana nilainya akan terus bergerak naik sampai kecepatan perputaran axial fan menjadi konstan. Pada saat kecepatan axial fan yang konstan tersebut, nilai dorongan yang terbaca akan naik turun pada range tertentu. Nilai dorongan yang terbaca oleh pull meter dalam satuan gram. Pengujian akan dilakukan pada kondisi blade tanpa dan dengan *dimple*.



a. Dimensi model mobil



b. Rancangan pengambilan data gaya dorong

Gambar 3.1 dimensi model mobil dan rancangan alat uji

- Rancangan alat uji pengambilan data kecepatan aliran udara

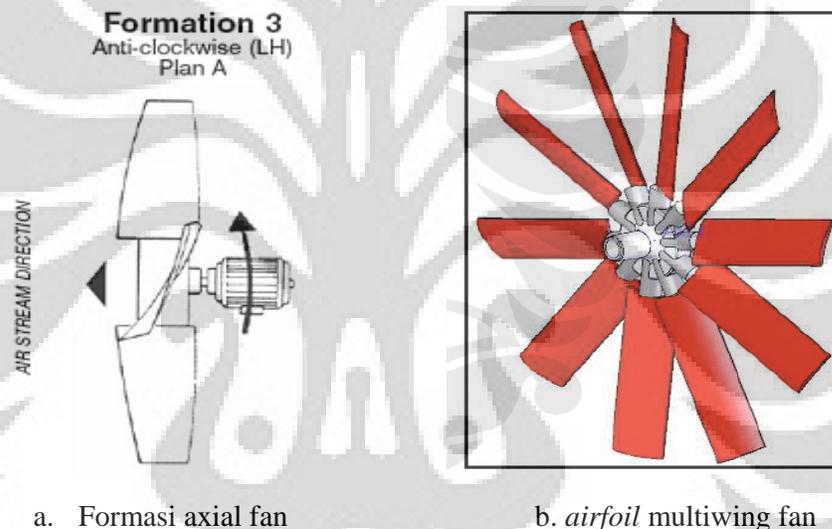
Rancangan alat uji untuk pengambilan data kecepatan aliran hampir sama dengan pengambilan data gaya dorong, tetapi tanpa menggunakan model mobil dan pull meter. Untuk pengukuran kecepatan udara yang dihasilkan oleh axial fan digunakan *hot wire* yang diposisikan dengan jarak $\pm 1,5$ meter di depan Axial fan. Udara dengan kecepatan tertentu akan diterima oleh sensor dari hot wire dan

kemudian nilai dari kecepatan udara tersebut akan terbaca pada layar *hot wire*. Pengujian akan dilakukan pada kondisi blade tanpa dan dengan *dimple*.

- **Spesifikasi alat uji**

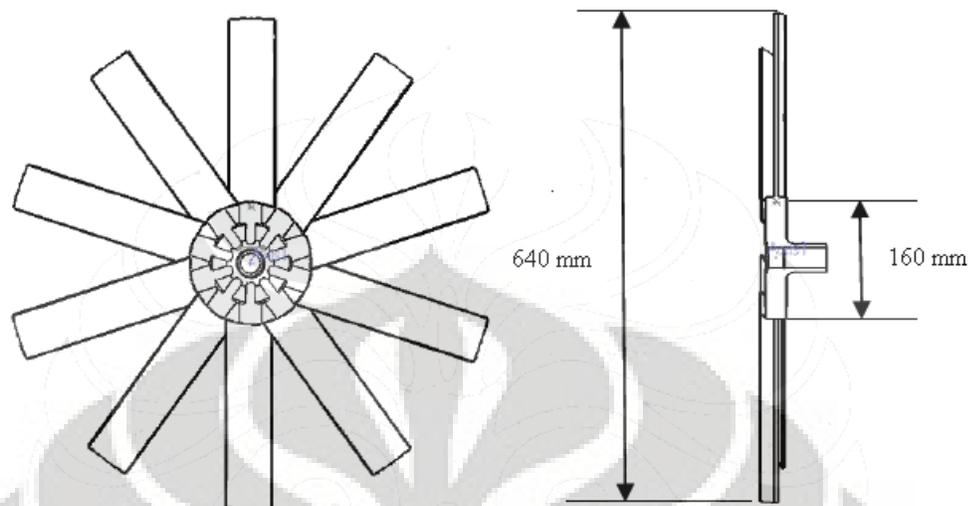
- ✓ Axial fan

Axial fan yang digunakan adalah *formation 3*, dimana axial fan berjenis dorong seperti yang sudah dijelaskan pada BAB II, dengan arah putar berlawanan arah jarum jam yang disesuaikan dengan arah perputaran shaft pada mesin. Tipe axial fan yang digunakan adalah *airfoil* dengan sudu banyak (*multiwing*) bermerek London fan, seperti terlihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.2 tipe formasi dan jenis axial fan

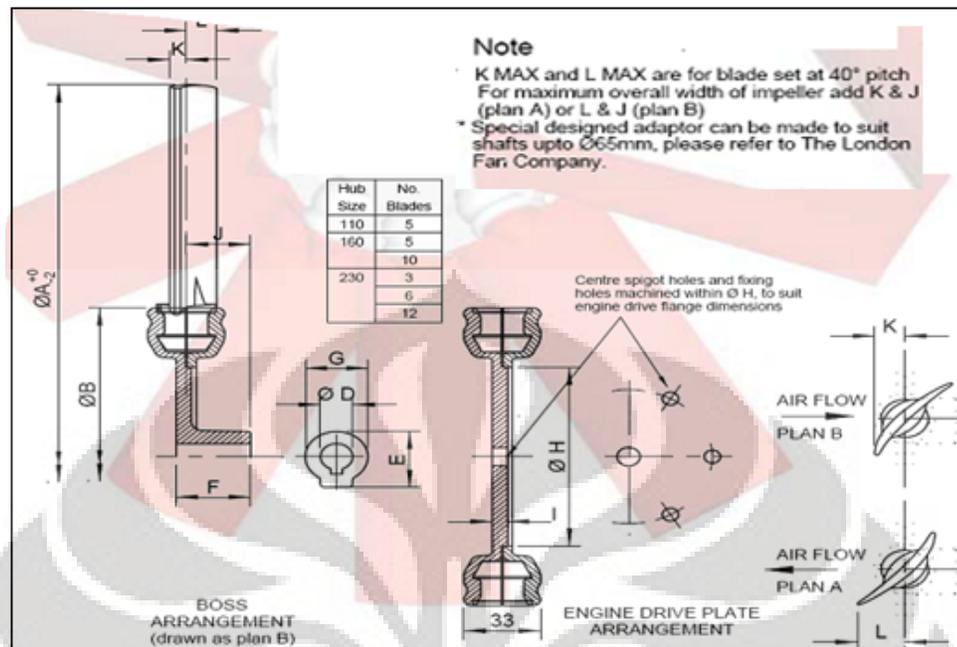
Multi-wing fan yang digunakan berdiameter 640 mm dengan diameter hub 160 mm. panjang satu blade adalah 240 mm. Area ketebalan maksimum (maksimum camber) dari blade adalah sebesar 6 mm. Blade terbuat dari material *Glass Reinforced Polypropylene (GRP)* yang bisa dioperasikan pada temperatur $-40^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$. Untuk dimensi blade boss dan engine drive plate dapat dilihat seperti gambar 3.4 dibawah (dari brosur London fan).



Gambar 3.3 Diameter Hub dan diameter Tip

Untuk pengukuran gara dorong, *pull meter* yang terkait pada ducting terhubung ke model mobil dengan posisi tepat di tengah badan model mobil dan dudukan mesin. Pull meter dikondisikan pada posisi yang bebas dari tarikan sehingga nilai awal yang terbaca adalah nol. Sedangkan untuk pengukuran kecepatan udara, *hot wire* diposisikan pada jarak tertentu di depan axial fan.

Diameter Range A	Blade Profile	** Size of Bores D	Dimensions*									
			B	E	F	G	H	I	J	K MAX	L MAX	
400-710	B	19-20	230	34	42	31	120	7	39	21	34	
		24		42	52	38			49			
		28		45	62	41			59			
		38		62	82	58			79			
315-830	A	12-16	160	30	32	27	96	6.5	28	27	41	
		19-20		34	32	31			28			
		19-20		34	42	31			38			
		22-24		42	52	38			48			
		28		45	62	41			58			
400-900	A	19-20	230	34	42	31	120	7	39	27	41	
		24		42	52	38			49			
		28		45	62	41			59			
		38		62	82	58			79			



Gambar 3.4 dimensi blade, boss, dan engine drive plat.

✓ Lapisan *dimple*

Seperti yang dijelaskan pada BAB 2 yang merujuk pada patent oleh Anthony C. Occhipinti, untuk memudahkan dan menghemat biaya pengujian maka masing-masing blade terlebih dahulu dilapisi lapisan tipis pada permukaannya. Dengan adanya lapisan tersebut maka blade yang digunakan



Gambar 3.5 lapisan ber-*dimple* pada sisi hisap blade

sebelum dan sesudah pemberian aplikasi *dimple* tetap sama karena yang di-*dimple* hanya bagian lapisannya saja. Sehingga hanya lapisannya saja yang harus diganti ketika terjadi kesalahan ataupun ketika memvariasikan posisi penempatan *dimple*. Selain itu pembuatan *dimple* lebih mudah dilakukan pada lapisan.

Menurut Anthony C. Occhipinti, tebal lapisan dapat bervariasi dimana lapisan yang tipis lebih disarankan untuk menekan atau menghindari penambahan drag. Sedangkan Untuk menghindari kerugian kecepatan yang signifikan, maka ketebalan lapisan harus berkisar antara sekitar $1 / 64$ inci dan $3 / 32$ inci ($0.381\text{mm} < h < 2.3813 \text{ mm}$) yang disesuaikan dengan kedalaman *dimple*. Oleh karena itu, maka ketebalan lapisan yang digunakan adalah 1.5 mm. Lapisan ini akan diberi *dimple* dengan kedalaman yang sama dengan tebal lapisan dan berdiameter 6 mm.

Lapisan tipis yang digunakan adalah kertas karton. Lapisan direkatkan dengan *double tape* dan pada bagian luar dilapisi dengan *sellotape* untuk menguatkan dan meratakan permukaan lapisan. Bentuknya disesuaikan dengan bentuk permukaan blade.



Gambar 3.6 lapisan tipis ber-*dimple* pada permukaan blade

3.2 PERALATAN PENDUKUNG

1. Mesin/ motor penggerak

Mesin yang digunakan sebagai penggerak axial fan adalah mesin bakar 4 tak bermerek Honda tipe G200 dengan daya 5,5 HP . Maksimum output dari mesin adalah 5 hp / 3.600 rpm dan arah perputaran shaftnya berlawanan arah jarum jam. Kecepatan putaran relatif mesin ini menurut skripsi yang ditulis oleh Febri Razaqur Rahim , 2007/2008 adalah sekitar 2800 rpm.

Oleh karena terjadinya kerusakan mesin setelah pengukuran gaya dorong maka, mesin diganti dengan motor listrik AC single phase dengan puanan 1400rpm. Hukum dan formula fan pada BAB II akan digunakan untuk membandingkan hasil dari kedua motor yang digunakan.

SPECIFICATIONS			G150	G200
Cycle, valve arrangement			4 cycle, side valve	
Displacement	cc (cu. in.)		144 (8.8)	197 (12.0)
Max. output	hp/rpm		3.5/3.600	5.0/3.600
Max. torque	kg-m (lbs-ft)		0.72 (5.2)	1.06 (7.7)
Fuel consumption	g/hp-h (lbs/hp-h)		310 (0.64)	210 (0.626)
PTO shaft rotation			Counterclockwise	
Dry weight	kg (lbs)		13.5 (29.8)	15.0 (33.1)



Gambar 3.7 spesifikasi mesin penggerak axial fan

2. Model mobil

Model mobil yang digunakan berbentuk aerodinamis dan terbuat dari gabus/*strayfoam* dengan bentuk dan dimensi seperti yang terlihat pada gambar 3.1a. Pada bagian bawah model mobil ditempel triplex untuk pengait pull meter.



Gambar 3.8 rancangan alat uji dorongan

3. *Pull meter*

Pull meter yang digunakan adalah jenis digital. Ketelitian pull meter ini adalah 10 gram dan beban maksimal yang dapat diterima adalah sebesar 2 kg.



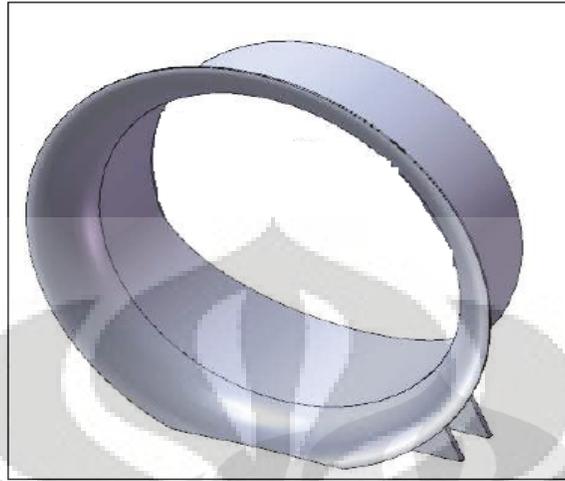
Gambar 3.9 *Pull meter*

4. *Hot wire*

Hot wire ini mampu mengukur kecepatan udara sampai dengan kecepatan 20 m/s. Alat ini sangat sensitif pada kecepatan udara rendah. Alat ini juga dilengkapi dengan sensor temperatur yang akan membaca temperature udara yang didorong oleh axial fan.

5. Ducting

Ducting digunakan untuk mengarahkan aliran udara yang dihasilkan oleh axial fan, sehingga udara yang dihasilkan lebih terfokus pada model mobil atau pun pada alat ukur *hot wire*. Bentuk ducting yang digunakan seperti terlihat pada gambar. Ducting diposisikan tepat di depan axial fan.



Gambar 3.10 ducting

3.3 KONDISI DALAM PENGUJIAN

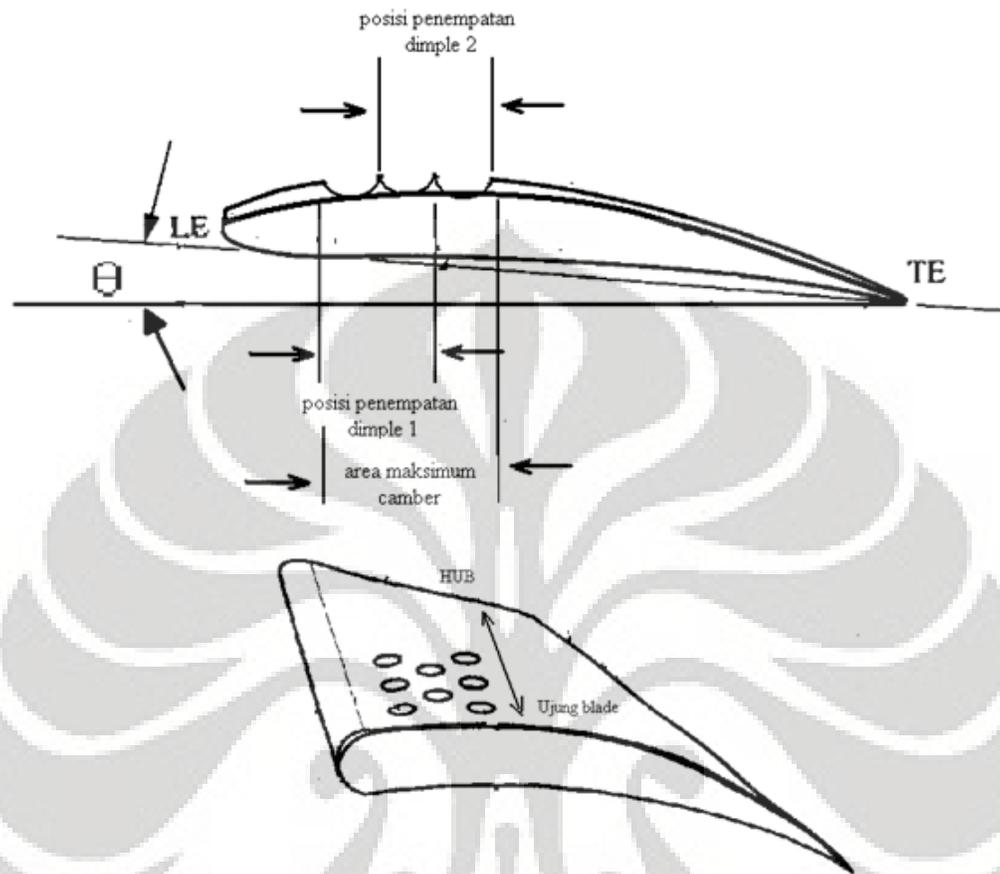
Sebelum pengambilan data, nilai awal pada alat ukur harus nol untuk memastikan bahwa tidak ada gangguan udara luar. Pada saat axial fan diputar maka harus dipastikan bahwa getaran yang diterima oleh dudukan mesin tidak akan merubah posisi awalnya.. Axial fan dibiarkan berputar sampai pada kecepatan konstan, sehingga nilai yang terbaca oleh pull meter atau hot wire terus naik sampai berada pada range yang cenderung konstan juga. Oleh karena blade axial fan dilapisi lapisan tipis yang berguna untuk memudahkan dan menghemat biaya pengambilan data, maka harus diperhatikan kondisi lapisan sebelum dan sesudah axial fan diputar. Posisi model mobil, dudukan mesin dan alat ukur harus diperhatikan setiap kali pengambilan data dilakukan.

Untuk pengambilan data dimana axial fan telah diberikan aplikasi *dimple*, maka lapisan yang telah diberi aplikasi *dimple* harus benar-benar bersih terutama pada bagian *dimple*-nya dan lapisan harus merekat kuat pada fan. *Dimple* harus selalu diperhatikan kondisinya setiap kali dilakukan pengujian. Pengambilan data sebelum dan sesudah penambahan aplikasi *dimple* ini dilakukan berulang kali untuk mengetahui variasi nilai yang didapat.

3.4 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA

Axial fan, ducting dan model mobil diposisikan dalam satu garis. Ketika mesin dihidupkan, maka perputaran axial fan akan mendorong udara ke depan. Kemudian udara tersebut difokuskan oleh ducting untuk kemudian akan mendorong model mobil. Kecepatan perputaran axial fan tersebut akan terus meningkat dan cenderung konstan pada rpm maksimal. Nilai dorongan dari udara yang mendorong model mobil tersebut akan terbaca oleh *pull meter* yang terkait pada model mobil. Satuan nilai dorongan pada pembacaan *pullmeter* adalah *gram*. Hasil pembacaan oleh *pullmeter* tidak akan konstan pada satu nilai tetapi konstan pada range tertentu. Sedangkan untuk kecepatan aliran didapat dengan menempatkan *hot wire* pada jarak $\pm 1,5$ meter di depan axial fan. Satuan nilai kecepatan pada pembacaan *hot wire* adalah *m/s*.

Pengambilan data dilakukan sebelum dan sesudah pemberian *dimple* yang divariasikan pada beberapa sudut pemasangan blade, mulai dari 15° , 20° , 25° , dan 30° . Untuk sudut yang lebih besar pengujian tidak dilakukan karena getaran yang dihasilkan besar, sehingga akan mengganggu perputaran aksial fan. Untuk mengetahui posisi penempatan *dimple* yang optimal pada area maksimum *camber* dari blade maka pengambilan data pada axial fan yang telah ditambahkan aplikasi *dimple* divariasikan menurut posisi penempatan *dimple*-nya. Area maksimum *camber* berada pada 15 mm dari leading edge sampai 35 mm dari leading edge pada garis lurus. *Dimple* dengan diameter 6 mm dan kedalaman 1,5 mm ditempatkan sepanjang blade dari *hub* sampai *tip blade* dengan jarak masing-masing $2 \times$ diameter atau 12 mm. Dengan space maksimum *camber* yang tersedia maka dapat dibuat tiga baris *dimple* dengan posisi seperti pada gambar 3.12. Maka variasi posisi penempatan *dimple* adalah dua baris *dimple* yang dekat dengan leading edge dan dua baris *dimple* yang dekat dengan trailing edge, dimana baris *dimple* yang di tengah digunakan bersamaan. Untuk lebih jelas lihat gambar berikut.



Gambar 3.11 posisi penempatan *dimple* pada area maksimum camber

3.5 TAHAPAN PENGUJIAN

Tahapan pengujian dalam pengambilan data adalah sebagai berikut :

A. Pengambilan data untuk gaya dorong

✓ Sebelum pemberian *dimple*

Masing-masing permukaan blade telah ditambahkan lapisan kertas karton tetapi belum di-dimple

1. Posisikan axial fan, ducting, model mobil, dan *pull meter* seperti pada rancangan alat uji
2. Atur posisi sudut pemasangan blade dari masing-masing blade sebesar 10°

3. Pastikan lapisan pada permukaan blade benar-benar bersih dari debu dan kotoran lainnya
 4. Hidupkan pull meter dan pastikan pull meter benar-benar bernilai nol sebelum axial fan dihidupkan
 5. Hidupkan mesin/motor dan biarkan axial fan berputar sampai pada kecepatan putaran yang konstan.
 6. Setelah kecepatan putaran cenderung konstan, lihat nilai pembacaan pada *pull meter*. Perhatikan nilai pembacaan pada pull meter benar-benar tidak mengalami kenaikan lagi dan cenderung konstan pada range tertentu.
 7. Catat nilai range konstan yang terbaca oleh pull meter dan ambil nilai tengahnya.
 8. Setelah data untuk sudut pemasangan blade 10° di dapat, matikan mesin dan perhatikan kembali posisi penempatan axial fan, ducting, model mobil dan pull meter, kemudian posisikan lagi pada kondisi semula.
 9. Ulangi langkah 3 sampai 8 untuk sudut pemasangan blade $15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, \text{ dan } 35^\circ$
 10. Lakukan pengambilan data untuk satu sudut pemasangan blade setidaknya 3 kali sebagai perbandingan.
- ✓ Setelah pemberian *dimple*
- Masing-masing permukaan blade telah ditambahkan lapisan kertas karton yang di-dimple. Lapisan di-dimple pada area maksimum camber*
1. Penempatan *dimple* pertama adalah dua baris *dimple*, yang memanjang dari hub ke ujung blade, yang terdekat dengan leading edge. (15 mm dari leading edge sampai 29 mm dari leading edge pada garis lurus)
 2. Lakukan pengambilan data seperti seperti sebelum pemberian *dimple* dari langkah 1 sampai 10.
 3. Ganti lapisan dengan yang baru dimana posisi penempatan *dimple* telah diubah. *Dimple* ditempatkan dua baris yang memanjang dari hub

ke ujung blade dimana penempatannya satu baris lebih ke belakang(ke arah trailing edge) dari posisi pertama

4. Lakukan pengambilan data seperti seperti sebelum pemberian dimple dari langkah 1 sampai 10.

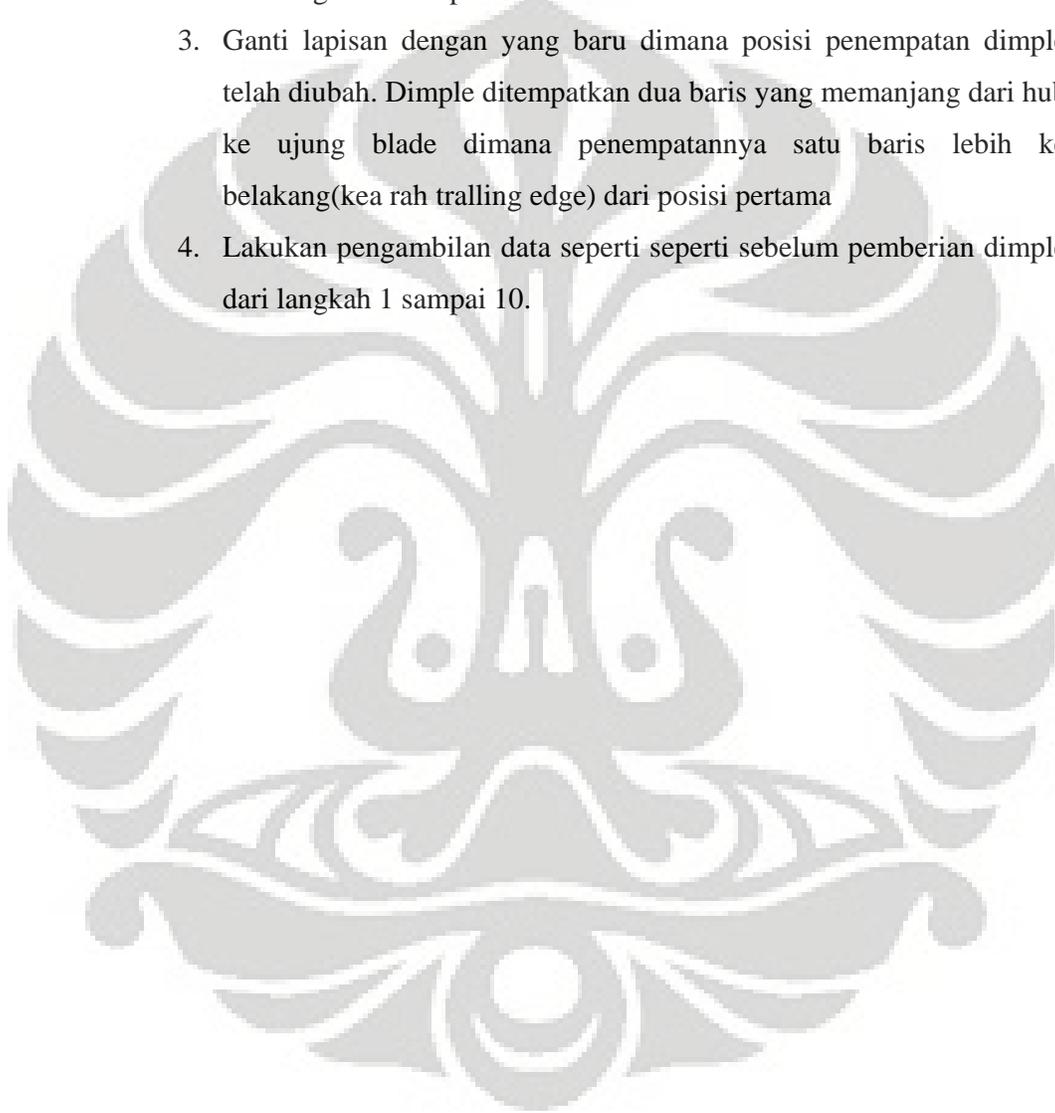
B. Pengambilan data untuk kecepatan udara

✓ Sebelum pemberian dimple

1. Posisikan axial fan, ducting dan *hot wire* seperti pada rancangan alat uji
2. Atur posisi sudut pemasangan blade dari masing-masing blade sebesar 10°
3. Pastikan lapisan pada permukaan blade benar-benar bersih dari debu dan kotoran lainnya
4. Hidupkan hot wire dan pastikan hot wire benar-benar bernilai nol sebelum axial fan dihidupkan
5. Hidupkan mesin/motor dan biarkan axial fan berputar sampai pada kecepatan putaran yang konstan.
6. Setelah kecepatan putaran cenderung konstan, lihat nilai pembacaan pada *hot wire*. Perhatikan nilai pembacaan pada hot wire benar-benar tidak mengalami kenaikan lagi dan cenderung konstan pada range tertentu.
7. Catat nilai range konstan yang terbaca oleh pull meter dan ambil nilai tengahnya.
8. Setelah data untuk sudut pemasangan blade 10° di dapat, matikan mesin dan perhatikan kembali posisi penempatan axial fan, ducting, dan hot wire, kemudian posisikan lagi pada kondisi semula.
9. Ulangi langkah 3 sampai 8 untuk sudut pemasangan blade $15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, \text{ dan } 35^\circ$
10. Lakukan pengambilan data untuk satu sudut pemasangan blade setidaknya 3 kali sebagai perbandingan.

✓ Setelah pemberian dimple

1. Penempatan dimple pertama adalah dua baris dimple, yang memanjang dari hub ke ujung blade, yang terdekat dengan leading edge.(15 mm dari leading edge sampai 29 mm dari leading edge pada garis lurus)
2. Lakukan pengambilan data seperti seperti sebelum pemberian dimple dari langkah 1 sampai 10.
3. Ganti lapisan dengan yang baru dimana posisi penempatan dimple telah diubah. Dimple ditempatkan dua baris yang memanjang dari hub ke ujung blade dimana penempatannya satu baris lebih ke belakang(kearah trailing edge) dari posisi pertama
4. Lakukan pengambilan data seperti seperti sebelum pemberian dimple dari langkah 1 sampai 10.



BAB IV PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA

4.1 PENGAMBILAN DATA

Dari percobaan yang dilakukan didapatkan data berupa gaya dorong dan kecepatan debit aliran udara yang nantinya akan diolah dengan formula-formula yang terdapat pada landasan teori. Gaya dorong didapat dengan menggunakan alat ukur *pull meter* dan kecepatan udara didapat dengan menggunakan *hot-wire*. Untuk variasi sudut *blade*, khusus untuk axial fan merek London telah 58 pengunci pada beberapa sudut. Sedangkan untuk variasi penempatan posisi *dimple* telah dijelaskan pada BAB sebelumnya. Satuan gaya dorong yang didapat dari alat ukur adalah *gram* dan untuk kecepatan aliran adalah *m/s*.

4.1.1 Pengambilan data gaya dorong

Untuk pengambilan data gaya dorong divariasikan berdasarkan sudut pemasangan *blade* dan posisi penempatan *dimple*.

a. Sudut pemasangan *blade* 15°

Pengambilan data dengan sudut pemasangan *blade* masing-masing *blade* 15° sebelum dan sesudah pemberian *dimple*, dimana terdapat dua variasi penempatan *dimple* seperti yang sudah dijelaska pada BAB sebelumnya. Mesin dibiarkan berputar pada rpm maksimal yaitu sekitar 300rpm. Pengujian dilakukan lima kali utnuk memperoleh nilai rata-rata.

Table 4.1 data hasil penelitian pada sudut pemasangan *blade* 15°

θ	SEBELUM <i>DIMPLE</i> (kg)	SESUDAH <i>DIMPLE</i> (kg)	
		POSISI PENEMPATAN 1	POSISI PENEMPATAN 2
15°			
Test 1	1.21	1.23	1.31
Test 2	1.22	1.27	1.32

Test 3	1.25	1.25	1.3
Test 4	1.24	1.23	1.35
Test 5	1.25	1.23	1.35
Rata-rata	1.234	1.242	1.326

Dari data diatas terlihat kenaikan nilai dorongan setelah pemberian *dimple* dimana pada posisi penempatan pertama mengalami sedikit kenaikan, sedangkan pada posisi penempatan kedua terjadi kenaikan yang cukup besar. Persentase % kenaikan dapat dihitung dengan :

$$\% \text{perubahan} = \frac{\text{data setelah dimple}(\text{posisi 1/ posisi2}) - \text{data sebelum dimple}}{\text{data sebelum dimple}} \dots\dots(4.1)$$

Untuk persentase % perubahan pada posisi penempatan 1 adalah :

$$\%PP2 = \frac{1,242 \text{ kg} - 1,234 \text{ kg}}{1,234 \text{ kg}} = 0,65\%$$

Untuk persentase % perubahan pada posisi penempatan 2 adalah :

$$\%PP2 = \frac{1,326 \text{ kg} - 1,234 \text{ kg}}{1,234 \text{ kg}} = 7,46\%$$

b. Sudut pemasangan *blade* 20°

Table 4.2 data hasil penelitian pada sudut pemasangan *blade* 20°

θ	SEBELUM	SESUDAH <i>DIMPLE</i> (kg)	
	<i>DIMPLE</i>	POSISI	POSISI
20°	(kg)	PENEMPATAN 1	PENEMPATAN 2
Test 1	1.604	1.674	1.624
Test 2	1.594	1.704	1.654

Test 3	1.564	1.724	1.634
Test 4	1.594	1.674	1.654
Test 5	1.594	1.674	1.644
Rata-rata	1.59	1.69	1.642

Dari data diatas terlihat kenaikan nilai dorongan setelah pemberian *dimple* dimana pada posisi penempatan pertama mengalami kenaikan lebih besar dibanding posisi penempatan kedua. Persentase % kenaikan dapat dihitung dengan :

Untuk persentase % perubahan pada posisi penempatan 1 adalah :

$$\%PP1 = \frac{1,69 \text{ kg} - 1,59 \text{ kg}}{1,59 \text{ kg}} = 6,29\%$$

Untuk persentase % perubahan pada posisi penempatan 2 adalah :

$$\%PP1 = \frac{1,624 \text{ kg} - 1,59 \text{ kg}}{1,59 \text{ kg}} = 3,27\%$$

c. Sudut pemasangan *blade* 25°

Table 4.3 data hasil penelitian pada sudut pemasangan *blade* 25°

θ	SEBELUM <i>DIMPLE</i>	SESUDAH <i>DIMPLE</i>	
		POSISI PENEMPATAN 1	POSISI PENEMPATAN 2
25°			
Test 1	1.28	1.21	1.06
Test 2	1.25	1.18	1.13
Test 3	1.28	1.22	1.03
Test 4	1.26	1.19	1.13

Universitas Indonesia

Test 5	1.25	1.18	1.09
Rata-rata	1.264	1.196	1.088

Dari data diatas terlihat penurunan nilai dorongan setelah pemberian *dimple* dimana pada kedua posisi penempatan mengalami mengalami nilai penurunan yang berbeda. Persentase % kenaikan dapat dihitung dengan :

Untuk persentase % perubahan pada posisi penempatan 1 adalah :

$$\%PP1 = \frac{1,196 \text{ kg} - 1,264 \text{ kg}}{1,264 \text{ kg}} = -5,38\%$$

Untuk persentase % perubahan pada posisi penempatan 2 adalah :

$$\%PP1 = \frac{1,088 \text{ kg} - 1,264 \text{ kg}}{1,264 \text{ kg}} = -13,92\%$$

d. Sudut pemasangan *blade* 30°

Table 4.4 data hasil penelitian pada sudut pemasangan *blade* 30°

θ	SEBELUM <i>DIMPLE</i>	SESUDAH <i>DIMPLE</i>	
		POSISI PENEMPATAN 1	POSISI PENEMPATAN 2
30°			
Test 1	1.24	1.02	1
Test 2	1.2	1.03	0.96
Test 3	1.08	1.05	0.95
Test 4	1.07	1.05	0.97
Test 5	1.1	1.07	1.01
Rata-rata	1.138	1.044	0.978

Dari data diatas terlihat penurunan nilai dorongan setelah pemberian *dimple* dimana pada kedua posisi penempatan mengalami mengalami nila penurunan yang berbeda. Persentase % kenaikan dapat dihitung dengan :

Untuk persentase % perubahan pada posisi penempatan 1 adalah :

$$\%PP2 = \frac{1,044 \text{ kg} - 1,138 \text{ kg}}{1,138 \text{ kg}} = -8,26\%$$

Untuk persentase % perubahan pada posisi penempatan 2 adalah :

$$\%PP2 = \frac{0,978 \text{ kg} - 1,138 \text{ kg}}{1,138 \text{ kg}} = -14,06\%$$

4.1.2 Kesimpulan data gaya dorong sebelum dan sesudah pemberian *dimple*

Pengaruh pemberian *dimple* pada posisi penempatan 1 dan 2 dapat disimpulkan melalui table berikut.

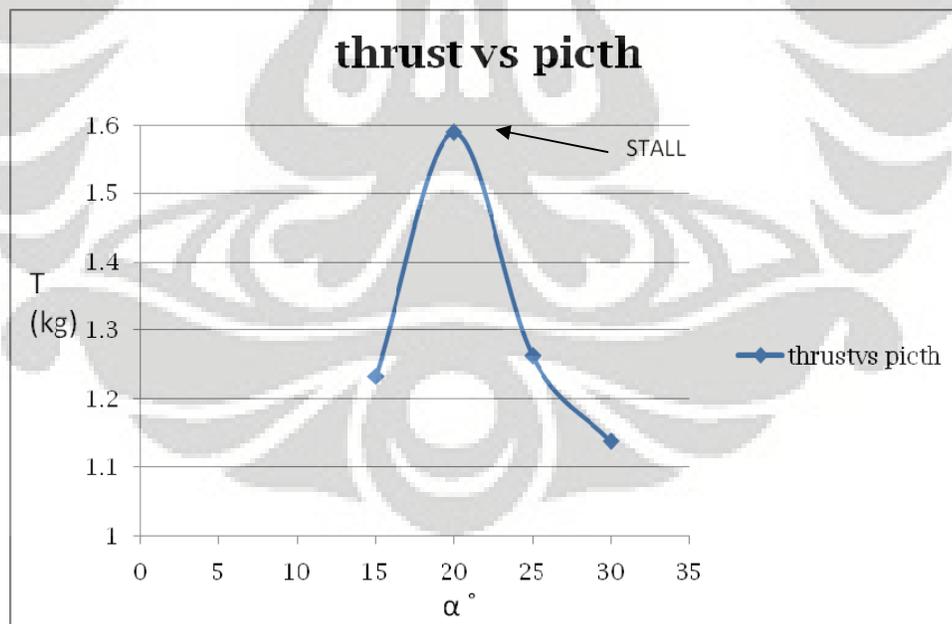
Table 4.5 data perubahan nilai dorongan pada masing-masing sudut pemasangan *blade*

θ	sebelum <i>dimple</i>	SESUDAH <i>DIMPLE</i>	
		POSISI PENEMPATAN 1	POSISI PENEMPATAN 2
15	1.362	1.456	1.382
20	1.466	1.518	1.566
25	1.258	1.192	1.054
30	1.038	0.944	0.878

Table 4.6 Data perubahan nilai dorongan (dalam%)

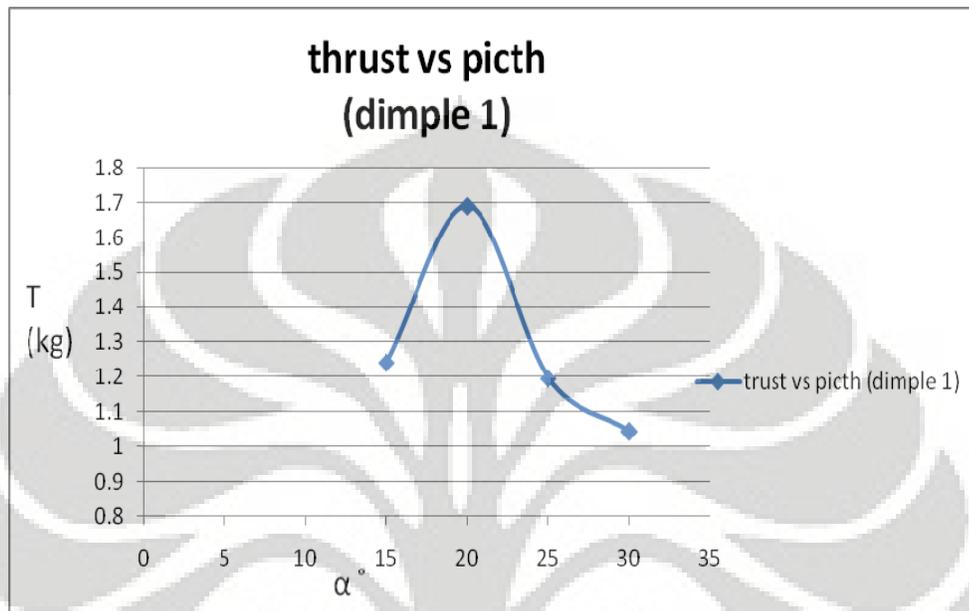
perubahan daya dorong (%)	
POSISI PENEMPATAN 1	POSISI PENEMPATAN 2
0.65%	7.46%
6.29%	3.27%
-5.38%	-13.92%
-8.26%	-14.06%

Terlihat bahwa fenomena stall seperti yang sudah dijelaskan pada BAB II, terjadi pada sudut pemasangan *blade* 20° . Hal ini menunjukkan bahwa axial fan optimal beroperasi pada sudut pemasangan *blade* 20° . Peningkatan sudut pemasangan *blade* melebihi sudut 20° akan menurunkan performa dari axial fan. Berikut merupakan grafik perubahan nilai dorongan pada variasi sudut pemasangan *blade* untuk posisi penempatan *dimple* 1 dan *dimple* 2

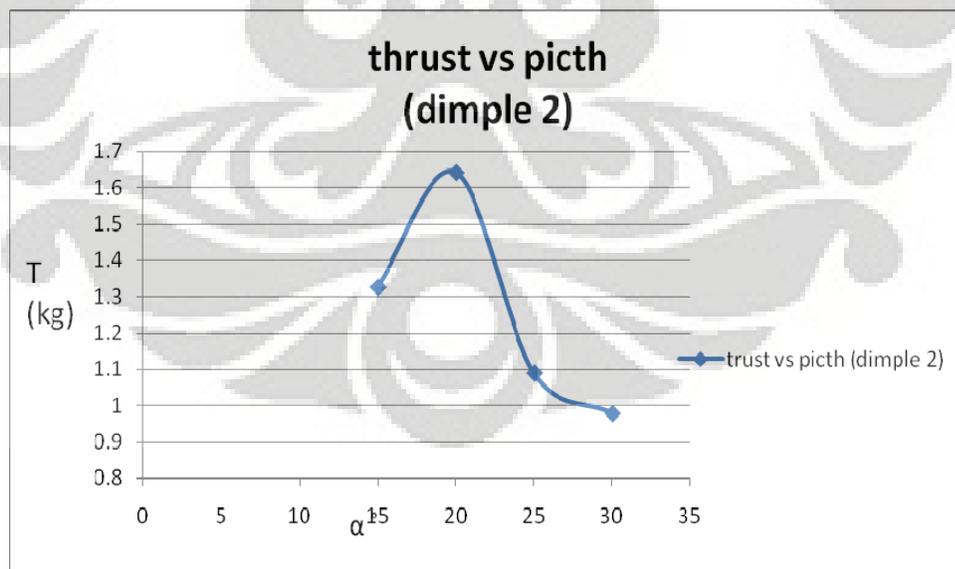


Gambar 4.1 perubahan nilai dorongan pada masing-masing sudut pemasangan *blade* sebelum pemberian *dimple*

Dari grafik diatas terlihat bahwa stall terjadi pada sudut pemasangan *blade* 20° dimana kenaikan sudut pemasangan *blade* akan menurunkan nilai dorongan pada perputaran axial fan yang sama.

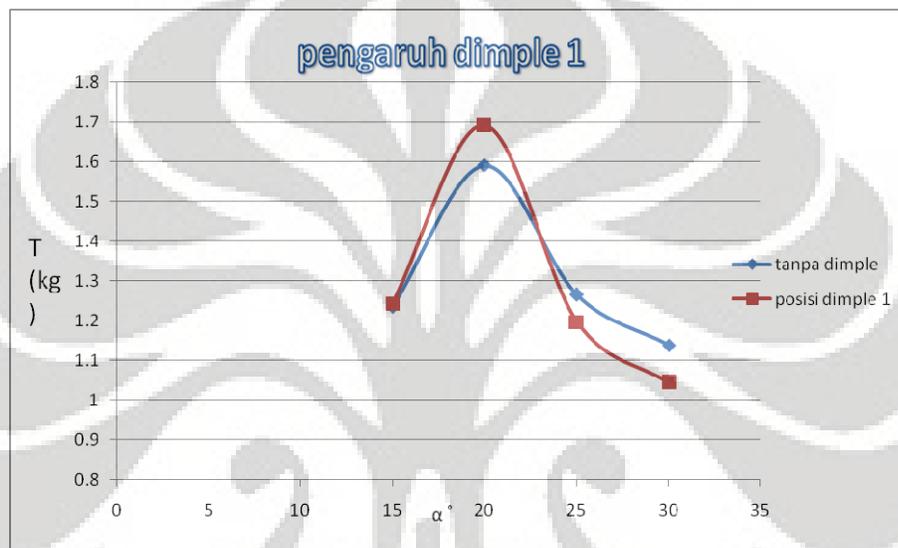


Gambar 4.2 perubahan nilai dorongan pada masing-masing sudut pemasangan *blade* untuk penempatan *dimple 1*

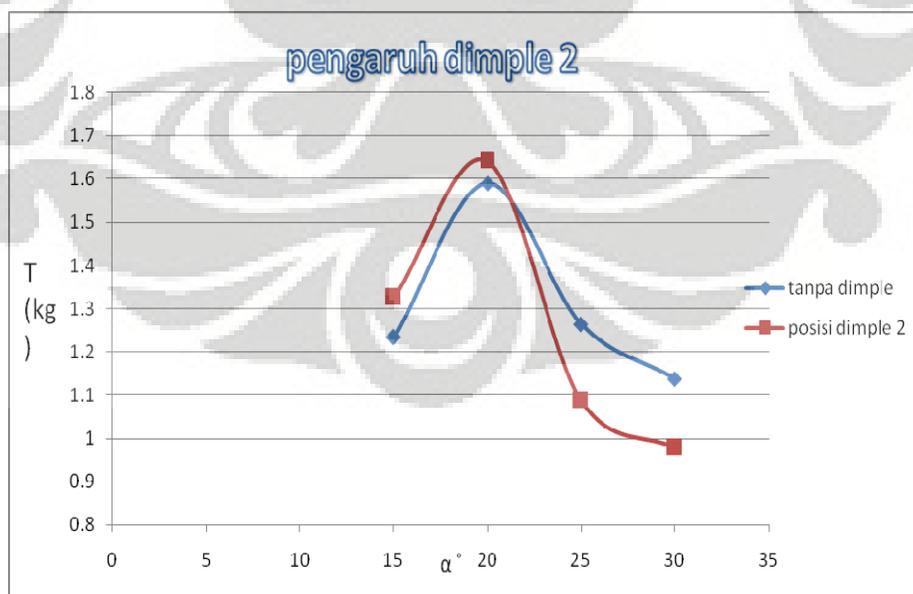


Gambar 4.3 perubahan nilai dorongan pada masing-masing sudut pemasangan *blade* untuk penempatan *dimple 2*

Grafik pada gambar 4.2 dan 4.3 menunjukkan bahwa penerapan aplikasi *dimple* tidak terlalu merubah bentuk grafik, dimana nilai dorongan akan naik sampai sudut pemasangan *blade* 20° dan akan mengalami penurunan untuk kenaikan sudut pemasangan *blade* selanjutnya atau stall tetap terjadi pada sudut 20° . Namun nilai dorongan pada masing-masing sudut pemasangan *blade* mengalami perubahan. Untuk mengetahui efek penempatan posisi *dimple* terhadap perubahan nilai dorongan dapat dilihat pada grafik dibawah :

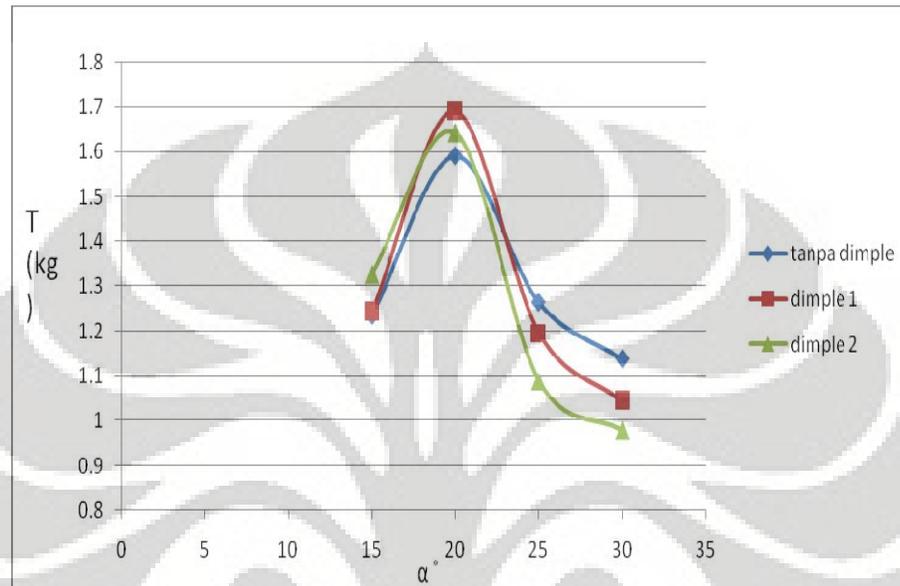


Gambar 4.4 pengaruh penempatan *dimple* 1 terhadap perubahan dorongan



Gambar 4.5 pengaruh penempatan *dimple* 2 terhadap perubahan dorongan

Untuk menganalisis pengaruh posisi penempatan yang optimal dalam peningkatan performa dorongan axial fan maka akan digambarkan melalui grafik perbandingan perubahan nilai dorongan pada kedua posisi penempatan *dimple* berikut



Gambar 4.6 pengaruh penempatan *dimple* terhadap perubahan nilai dorongan

Dari grafik diatas terlihat bahwa untuk posisi sudut pemasangan *blade* optimal dalam pengoperasian axial fan adalah pada sudut pemasangan *blade* 20°. Pada sudut pemasangan *blade* 15° terlihat bahwa terjadi kenaikan nilai dorongan setelah pemberian aplikasi *dimple* pada permukaan *blade*. Untuk posisi penempatan *dimple* 1 terlihat bahwa *dimple* tidak terlalu memberikan pengaruh dibanding posisi penempatan 2 yang mengalami kenaikan dorongan besar 7,46 %. Sedangkan untuk sudut pemasangan *blade* optimal yaitu 20° kenaikan nilai dorongan setelah penambahan aplikasi *dimple* lebih besar pada penempatan *dimple* 1, yaitu dengan nilai perubahan sebesar 6.29%. Untuk sudut pemasangan *blade* yang lebih besar dari 20°, terjadi fenomena yang berkebalikan pada pemasangan sudut 15° dan 20°. dari grafik dapat dilihat bahwa pada sudut pemasangan 25° mengalami penurunan nilai dorongan setelah penambahan *dimple* dimana nilai penurunan lebih kecil pada posisi penempatan 1, dengan nilai

perubahan sebesar -5.38%. Begitu juga dengan sudut pemasangan *blade* 30°, dimana nilai penurunan lebih kecil pada penempatan posisi penempatan *dimple* 1, yaitu dengan nilai perubahan sebesar -8,26%.

4.1.3 Pengambilan data kecepatan aliran udara

Untuk pengambilan data dilakukan sesuai dengan rancangan alat uji dengan menggunakan alat ukur *hot wire*. Pengambilan data kecepatan aliran divariasikan berdasarkan sudut pemasangan *blade* dan posisi penempatan *dimple*. Dikarenakan terjadinya kerusakan pada motor penggerak pada pengambilan data dorongan maka motor diganti dengan motor listrik AC dengan RPM 1400. Jumlah *blade* juga disesuaikan dengan tenaga motor penggerak. Maka jumlah *blade* yang digunakan adalah 5 *blade*.

Efek dari perubahan motor penggerak dan jumlah *blade* akan disetarakan dengan formula-formula sebagai berikut:

- Untuk mendapatkan nilai kecepatan pada RPM 1 dengan data yang diperoleh pada RPM 2 diaplikasikan rumus hukum fan berikut :

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \dots\dots(4.2)$$

$$Q = AxV_a$$

Oleh karena nilai luas pada sisi outlet duct (A) bernilai tetap maka:

$$\frac{V_{a1}}{V_{a2}} = \frac{N1}{N2}$$

$$V_{1a} = \frac{N_1}{N_2} \times V_{2a} \quad \dots\dots(4.3)$$

Keterangan :

V_{a1} = kecepatan udara arah aksial pada RPM 1

V_{a2} = kecepatan udara arah aksial pada RPM 2

N_1 = kecepatan perputaran axial fan RPM 1 , 2800 rpm

N_2 = kecepatan perputaran axial fan RPM 2, 1400rpm

- Setelah didapat nilai kecepatan pada setelah perubahan RPM maka selanjutnya disesuaikan dengan jumlah *blade* melalui formulasi berikut :

$$flow\ change = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + 6,5} \right) \times 100\% \quad \dots\dots(4.4)$$

n_1 = jumlah *blade* pada pengujian pertama, 10 *blade*

n_2 = jumlah *blade* pada pengujian kedua, 5 *blade*

jadi persentase penambahan debit aliran adalah sebesar :

$$\begin{aligned} flow\ change &= \left(\frac{10 - 5}{10 + 6,5} \right) \times 100\% \\ &= 30,3\% \end{aligned}$$

Kecepatan aliran yang didapat dengan menggunakan hot-wire merupakan kecepatan output udara pada arah aksial, sedangkan kecepatan udara *helical* dari axial fan menggunakan rumus seperti yang telah dijelaskan pada BAB II. Pengambilan data Berikut merupakan data kecepatan aksial udara sebelum pemberian *dimple* dari perputaran axial fan :

Table 4.7 Data kecepatan arah aksial

picth (θ)	V a (m/s)	V a (fpm)
15	5.5	1082.95
20	6.2	1220.78
25	5.6	1102.64
30	5.4	1063.26

Va yang didapatkan merupakan kecepatan arah aksial yang didapatkan pada kondisi N2 dan RPM2. Untuk mendapatkan kecepatan aksial pada RPM1 dan N1 maka digunakan formulasi hukum fan pada persamaan (4.3) dan , sehingga didapat nilai Va pada kecepatan 2800rpm adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{rpm 1} &= 2800 & \text{rpm} & \text{n1} = 10 \\ \text{rpm 2} &= 1400 & \text{rpm} & \text{n2} = 5 \end{aligned}$$

Table 4.8 Data kecepatan arah aksial pada n1 dan RPM1

pitch (θ)	V a (fpm) pada RPM2&n2	Va(fpm) pada RPM1&n2	Va(fpm) pada RPM1&n1
15	1082.95	2165.9	2822.233333
20	1220.78	2441.56	3181.426667
25	1102.64	2205.28	2873.546667
30	1063.26	2126.52	2770.92

4.2 PENGOLAHAN DATA

Untuk mendapatkan karakteristik dari axial fan dan pengaruh pemberian *dimple* terhadap karakteristik axial fan tersebut maka dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan nilai tekanan statis(SP), koefisien lift(CI), kecepatan *helical*(V1), kecepatan relatif udara pada *blade*,(W) sudut udara relative (β), dan angle of attack dari udara(α).

4.2.1 Pengaruh *dimple* terhadap kecepatan aksial Va aksial fan

- Menentukan nilai koefisien lift (CI)

Nilai CI didapatkan dengan formulasi sebagai berikut :

$$CI = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} \quad \dots\dots(4.5)$$

Pada masa jenis udara standar maka rumus diatas dapat disederhanakan menjadi

$$Cl = \frac{844L}{AV^2} \quad \dots\dots(4.6)$$

L = lift , dorongan udara dari putaran axial fan , *pound*

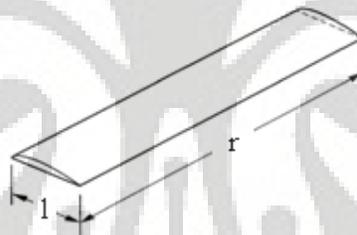
V = kecepatan udara sisi masuk *blade*, pada sisi masuk nilai V sama dengan Va, ft/s

A = luas area plate dari *blade*, ft²

A = l x r

= 6,5 cm x 24 cm = 156 cm² = 0,168 ft²

Oleh karena lift yang didapatkan merupakan lift dari putaran 10 *blade* maka A pada satu *blade* dikalikan jumlah *blade* yang digunakan, sehingga didapatkan nilai A sebesar 1,68 ft².



Gambar 4.1 area plate dari *blade*

Maka didapatkan nilai Cl pada setelah diolah dengan rumus (4.6) sebagai berikut :

Table 4.9 Data coefisien lift *Cl* terhadap kenaikan sudut *blade* θ

Sudut <i>blade</i> (θ)	dorongan (L) (pound)	V a (ft/s)	Cl
15	2.720504315	47.03722222	0.618036123
20	3.505349969	53.02377778	0.626668441
25	2.786642994	47.89244444	0.610653849
30	2.508860544	46.182	0.591260439

➤ perubahan nilai kecepatan V_a setelah pemberian dimple

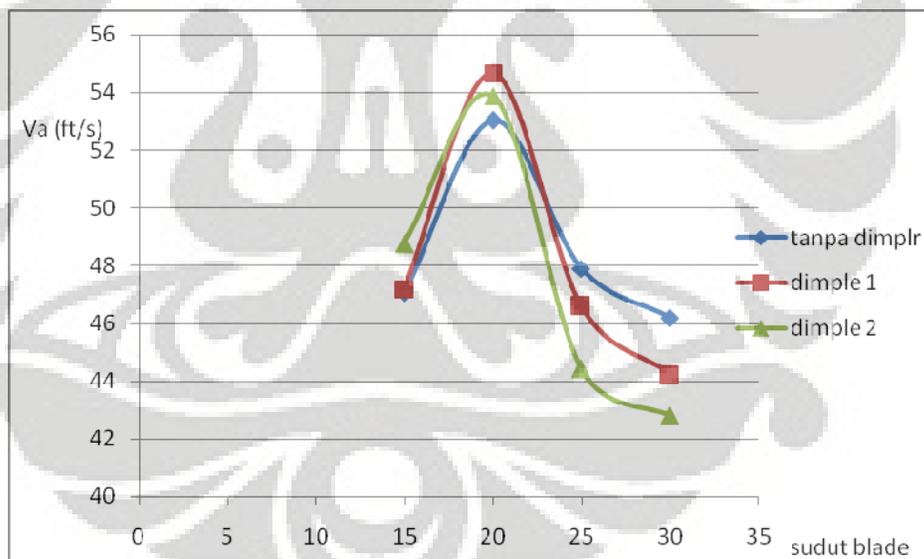
Dengan asumsi nilai C_l nilai C_l konstan atau mengalami sedikit perubahan maka didapat nilai V_a setelah pemberian dimple adalah

$$V = \sqrt{\frac{844L}{Axcl}}$$

Table 4.10 Data perubahan V_a setelah dimple

pitch (θ)	V (fps) sebelum dimple	Cl	V setelah dimple	
			Dimple 1	dimple 2
15	47.03722222	0.618036123	47.18944664	48.75911886
20	53.02377778	0.626668441	54.66576836	53.88385774
25	47.89244444	0.610653849	46.58638988	44.43323308
30	46.182	0.591260439	44.23355609	42.81254382

Perubahan nilai V_a diatas setelah penambahan aplikasi dimple dapat dilihat pada gambar dibawah :



Gambar 4.7 pengaruh penempatan *dimple* terhadap perubahan nilai kecepatan

4.2.2 menghitung pengaruh dimple terhadap kecepatan udara *helical*

➤ *menghitung kecepatan helical (V₁) dan kecepatan relative (W) sebelum dimple*

Komponen kecepatan pada aksial fan terdiri dari kecepatan arah helical (V₁) dan kecepatan udara relatif terhadap blade (W). Pada komponen V₁ terdiri dari kecepatan udara arah aksial dan kecepatan udara arah tangensial. Sedangkan pada kecepatan udara relatif terhadap blade tidak hanya dipengaruhi oleh komponen kecepatan udara, namun juga dipengaruhi oleh kecepatan pada perputaran blade. Perhitungan dilakukan pada rpm 1400 dan jumlah blade 5.

$$V_1 = \sqrt{V_a^2 + V_r^2}$$

$$W = \sqrt{V_a^2 + (Vb \pm \frac{1}{2}V_r)^2} \quad \dots\dots(4.8)$$

Vb merupakan kecepatan *blade* yang didapatkan melalui rumus

$$Vb = 2r\pi/12 \times rpm$$

r = radius axial fan, r *blade* + r hub

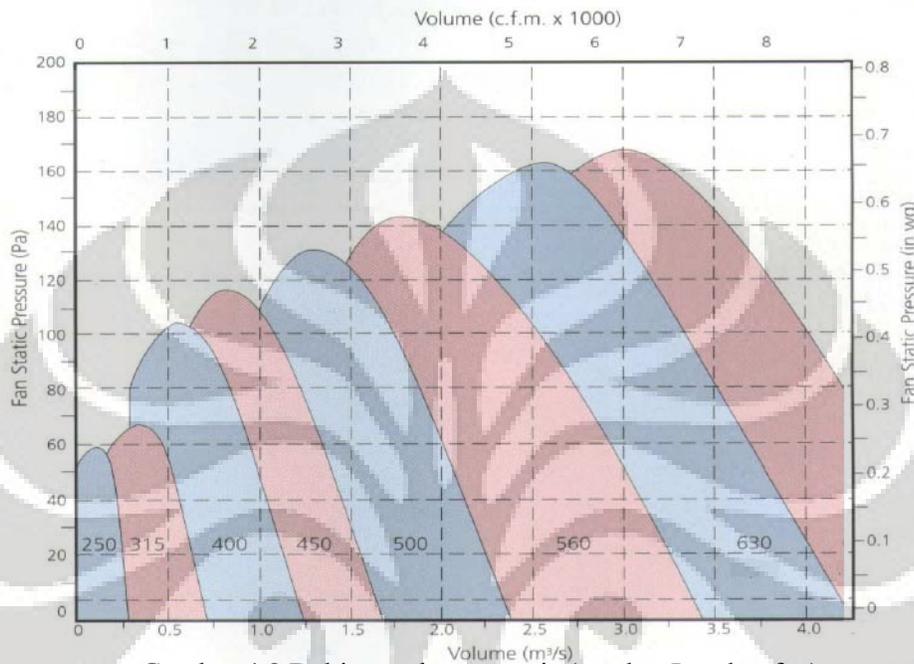
$$= 24 \text{ cm} + 5 \text{ cm} = 29 \text{ cm} = 11,426 \text{ in}$$

Sehingga didapat nilai Vb sebesar **21247.33333 ft/m**

Sedangkan Vr merupakan component arah tangensial dari kecepatan udara yang didapat dengan melalui rumus :

$$V_r = \frac{233 \times 10^5}{rpm} \times \frac{SP}{r} \quad \dots\dots(4.19)$$

Nilai SP dapat diketahui pada catalog dari aksial fan yang digunakan yaitu London fan.

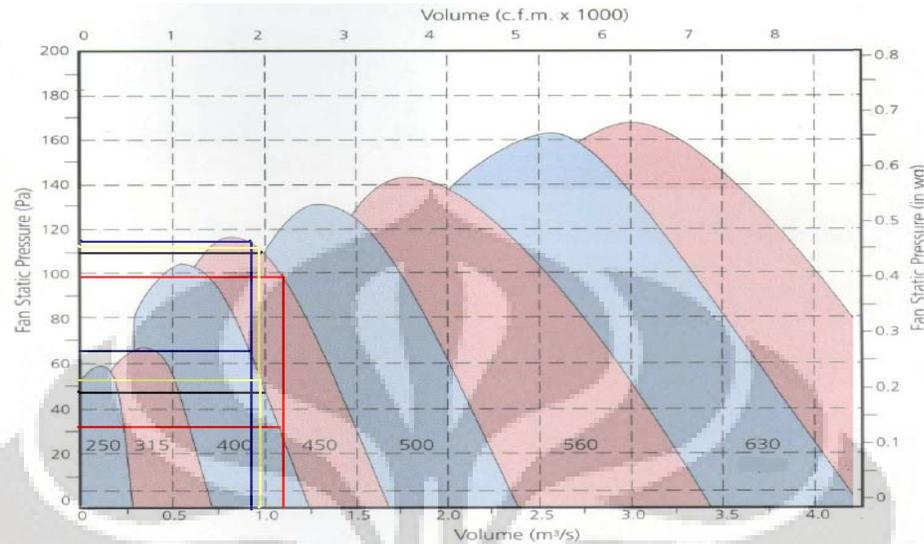


Gambar 4.8 Debit vs tekanan statis (catalog London fan)

Diameter dari fan yang digunakan adalah diameter tip dikurangi diameter hub, sehingga didapat diameter blade adalah 480mm. Dari table diatas terlihat bahwa Grafik debit (Q) vs tekanan statis untuk diameter 480mm berada kira-kira antara 450mm dan 500mm. nilai debit untuk masing-masing sudut pemasangan blade dapat dilihat pada table dibawah :

Table 4.11 Data debit aliran sebelum dimple (Q)

pitch (θ)	V a (m/s)	Q (m³/s)
15	5.5	0.994752
20	6.2	1.1213568
25	5.6	1.0128384
30	5.4	0.9766656



Gambar 4.9 Tekana statis pada diameter beberapa fan

Untuk nilai Q yang sama maka nilai SP pada diameter fan 450mm dan 500 mm dapat diperkirakan dari gambar diatas. Kemudian akan dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai SP pada diameter fan 480

Table 4.12 Data debit aliran pada diameter berbeda

Q (m ³ /s)	SP (pa) 450mm	SP (pa) 500mm
0.994752	53	113
1.1213568	30	98
1.0128384	44	110
0.9766656	65	115

Hasil interpolasi adalah sebagai berikut

Table 4.13 Data hasil interpolasi nilai SP pada diameter 480mm

picth (θ)	Q (m ³ /s)	SP (pa) 480mm	SP (inWC) 480mm
15	0.994752	89.0000	0.3573016
20	1.1213568	70.8000	0.2842354
25	1.0128384	83.6000	0.3356226

30	0.9766656	95.0000	0.3813893
----	-----------	---------	-----------

Dengan menggunakan nilai V_r pada rumus 4.11 maka didapatkan nilai V_r pada masing-masing sudut sebelum pemberian dimple sebagai berikut :

Table 4.14 nilai kecepatan arah tangential

pitch (θ)	Q (m ³ /s)	SP (pa) 480mm	SP (inWC)	Vr ft/m
15	0.994752	89.0000	0.3573016	205.0524
20	1.1213568	70.8000	0.2842354	163.1203
25	1.0128384	83.6000	0.3356226	192.611
30	0.9766656	95.0000	0.3813893	218.8761

Maka nilai kecepatan helical dan relatif dengan bantrua rumus 4.8

Table 4.15 nilai kecepatan helical dan kecepatan relatif udara

pitch (θ)	V1 ft/m	W ft/m
15	1102.191987	21255.44618
20	1231.629832	21306.12986
25	1119.336394	21265.68218
30	1085.554506	21244.59234

➤ menghitung sudut serang udara α

Nilai sudut serang udara dapat diketahui setelah nilai kecepatan relatif W diketahui. Pada BAB II telah dijelaskan bahwa sudut relative udara merupakan sinus dari kecepatan aksial per kecepatan relatif seperti yang terlihat pada segitiga kecepatan aliran udara.

$$\sin \beta = V_a/W$$

Table 4.15 nilai sudut serang α

pitch (θ)	Va (ft/s)	W ft/s	β	$\alpha = \theta - \beta$
15	47.03722222	354.2574363	7.585225411	7.414774589
20	53.02377778	355.1021643	8.523636326	11.47636367

25	47.89244444	354.4280363	7.718610563	17.28138944
30	46.182	354.0765391	7.451885291	22.54811471

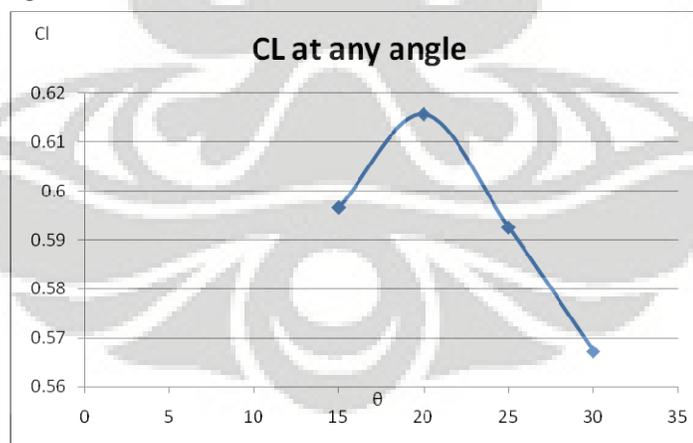
➤ menghitung nilai V_1 setelah pemberian dimple

untuk menghitung nilai V_1 pada jumlah blade 10 dan putaran 2800rpm digunakan rumus 4.3 dan 4.4. sedangkan untuk mengetahui perubahan nilai V_1 setelah dimple dihitung nilai coefisien lift. Coefisien lift dihitung dengan rumus 4.6 dengan V merupakan komponen kecepatan udara sisi keluar fan arah helical. Sehingga nilai C_l didapat sebagaiberikut.

Table 4.16 Coefisien lift pada komponen kecepatan udara helical

pitch (θ)	V_1 ft/m	V_1 ft/s	C_l
15	2872.379117	47.87298529	0.596645229
20	3209.701987	53.49503312	0.615676016
25	2917.058481	48.61764134	0.592572286
30	2829.020833	47.15034721	0.567223878

Hubungan nilai coefisien lift terhadap perubahan sudut pemasangan blade dapat dilihat pada gambar dibawah :



Gambar 4.10 Karakteristik coefisien lift (C_l) Aksial fan

Setelah nilai C_l didapatkan, maka perubahan kecepatan arah helical setelah penambahna bisa diestimasi dengan asumsi perubahan C_l kecil dan dapat

diabaikan. V1 setelah didapat dengan rumus dibawah, dengan L merupakan dorongan yang nilai sebelum dan sesudah dimple telah diketahui sebelumnya

$$V = \sqrt{\frac{844L}{Axcl}}$$

Table 4.17 V1 sebelum dan sesudah pemberian dimple

V1 TANPA DIMPLE ft/s	SESUDAH DIMPLE ft/s	
	POSISI PENEMPATAN 1	POSISI PENEMPATAN 2
47.87298529	48.02791445	49.6254768
53.49503312	55.1516171	54.36275715
48.61764134	47.29181024	45.10604992
47.15034721	45.16104821	43.71024005

4.2.2 menghitung pengaruh dimple terhadap tekanan dinamis

Tekanan dinamis

$$VP = \left(\frac{V}{4005} \right)^2 \quad \dots\dots(4.10)$$

VP = tekanan dinamis , inWC

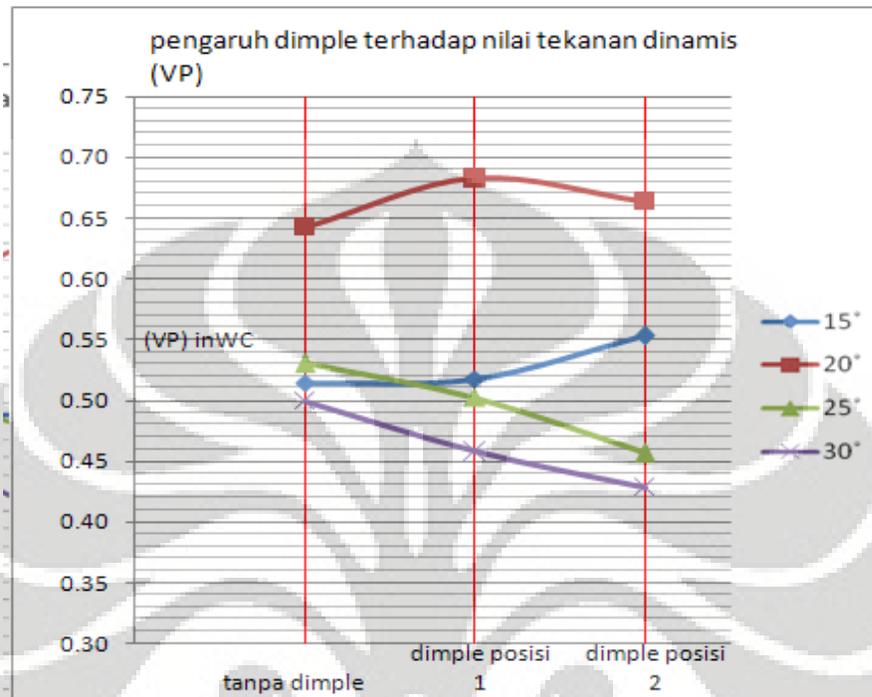
V = kecepatan *helical* udara yang keluar dari aksial fan (V1 out), fpm

Maka dari data V1 yang telah didapat maka nilai VP sebelum dan sesudah penambahan dimple dapat diketahui.

Table 4.18 VP sebelum dan sesudah pemberian dimple

VP TANPA DIMPLE inWC	SESUDAH DIMPLE inWC	
	POSISI PENEMPATAN 1	POSISI PENEMPATAN 2
0.514373375	0.517708048	0.552722119
0.642279975	0.682674941	0.663285357
0.530499808	0.501960261	0.456632746
0.498961746	0.457746979	0.428808952

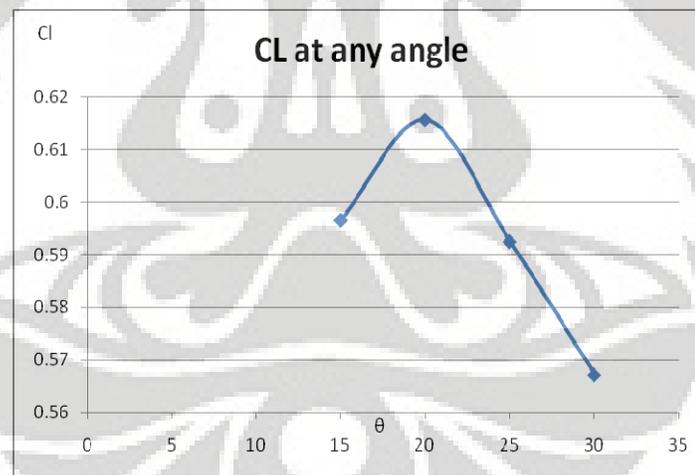
Hubungan pengaruh *dimple* terhadap tekanan dinamis dapat dilihat pada gambit dibawah.



Gambar 4.11 pengaruh penempatan *dimple* terhadap perubahan nilai tekanan dinamis (VP)

4.2 ANALISIS DATA

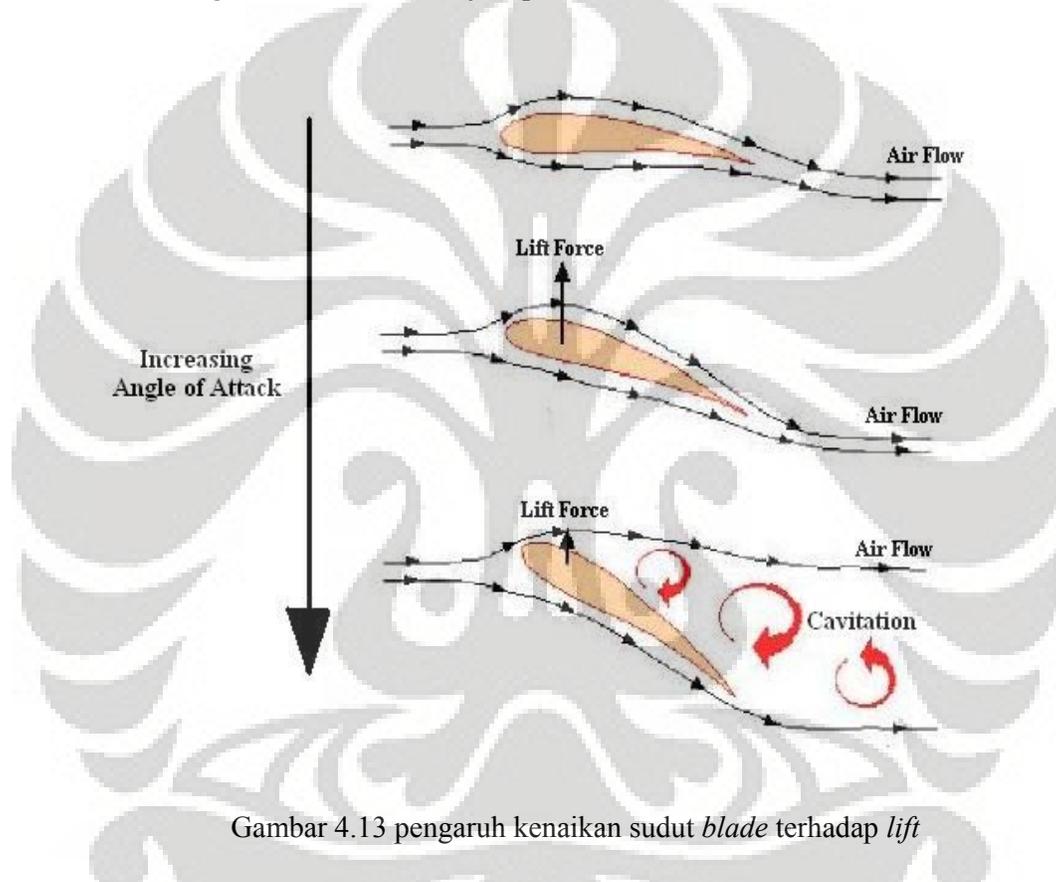
Pada dasarnya *dimple* berfungsi sebagai penghasil vortex (*vortex generator*). *Vortex generator* pada aliran udara di atas permukaan sebuah benda digunakan untuk menekan separasi atau pemisahan udara pada permukaan benda. *Vortex* yang dihasilkan oleh *dimple* pada permukaan *blade* menambahkan energi kinetik pada aliran udara yang berfungsi sebagai energi yang menahan berpisahannya aliran udara pada permukaan *blade* (*boundary layer separation*). Sebagaimana telah dijelaskan pada BAB II pemisahan (*separation*) lapisan udara dengan permukaan sebuah benda merupakan sebuah faktor penyebab gangguan pada aliran udara seperti *drag* dan *loss lift*. Pada *airfoil blade*, gangguan seperti *drag* dan *loss lift* tersebut menjadikan sebuah aksial fan tidak berfungsi dengan optimal. Sebelum menganalisis pengaruh *dimple* pada permukaan *blade* maka terlebih dahulu harus diketahui karakteristik dari aksial fan yang digunakan.



Gambar 4.12 karakteristik koefisien lift aksial fan

Grafik koefisien lift diatas merupakan grafik dari karakteristik aksial fan yang digunakan untuk pengujian. Aksial fan jenis *airfoil* dengan panjang satu *blade* 240 mm berjumlah 10 *blade* yang diputar pada kecepatan 2800 rpm mempunyai karakteristik lift atau dorongan yang optimal pada sudut pemasangan *blade* 20°. Semakin diperbesar sudut serang maka akan meningkatkan dorongan

dan kecepatan udara yang dihasilkan aksial fan. Hal tersebut terjadi karena sudut tangkap sisi dorong fan besar dan kecepatan aliran masuk juga meningkat. Namun apabila sudut semakin diperbesar maka separasi pada sisi hisap terjadi lebih awal dan mengakibatkan aliran acak semakin besar pada sisi hisap. Aliran acak inilah yang menimbulkan drag pada *blade* selanjutnya dan penurunan dorongan udara pada perputaran aksial fan. Fenomena tersebut dikenal sebagai stall. Pada grafik terlihat stall terjadi pada sudut 20° .



Gambar 4.13 pengaruh kenaikan sudut *blade* terhadap lift

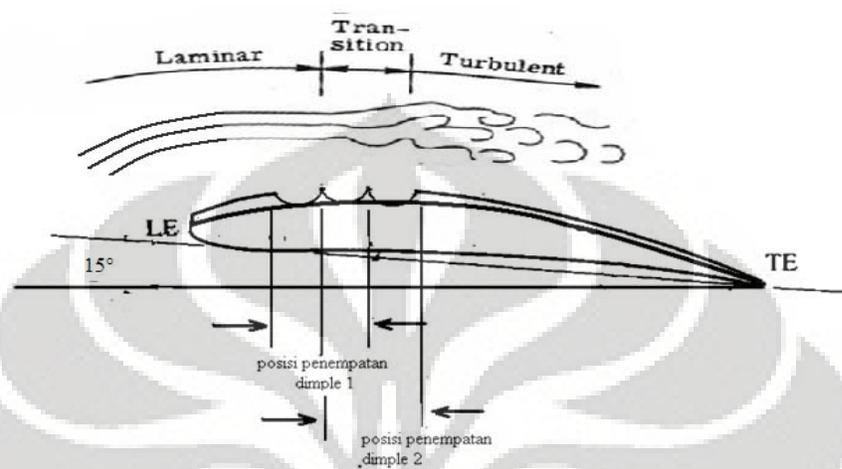
Dari hasil pengambilan dan pengolahan data terlihat bahwa *dimple* yang ditempatkan pada area maksimum camber, dimana biasanya separation terjadi, berperan dalam menambah performa aerodinamis dari axial fan. Dari variasi posisi posisi penempatan terlihat terlihat bahwa pada sudut pemasangan *blade* tertentu terjadi variasi kenaikan nilai dorongan ataupun kecepatan. Posisi penempatan *dimple* berada pada area *maksimum camber* memanjang dari hub hingga tip dari *blade* dengan pertimbangan bahwa separasi udara pada permukaan blade biasanya terjadi pada area tersebut.

Table 4.19 kesimpulan pengaruh *dimple* terhadap dorongan udara.

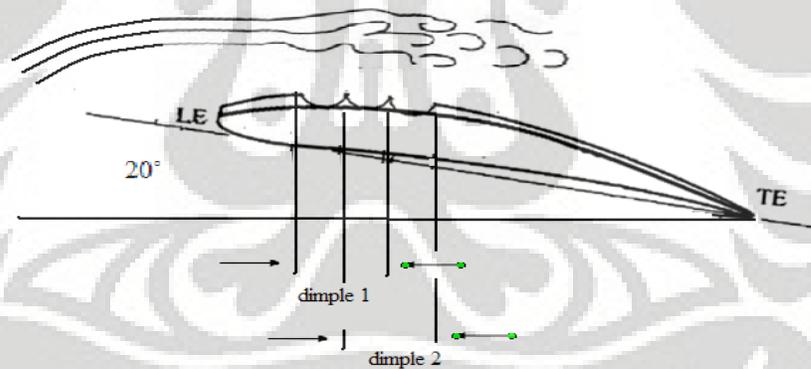
perubahan daya dorong (%)	
POSISI PENEMPATAN 1	POSISI PENEMPATAN 2
0.65%	7.46%
6.29%	3.27%
-5.38%	-13.92%
-8.26%	-14.06%

Pada sudut 15° , nilai kenaikan performa axial fan dari segi dorongan lebih optimal pada penempatan posisi *dimple* kedua. Hal ini dimungkinkan terjadi karena pada posisi sudut pemasangan kecil, separation cenderung lebih ke belakang pada area maksimum camber (ke arah trailing edge). Pada posisi penempatan *dimple* pertama, dimana dua baris ditempatkan memanjang pada posisi lebih depan, separasi belum/ baru akan terjadi atau terdapat beberapa *dimple* yang masih berada pada area sebelum separasi terjadi (*dimple* baris tengah digunakan bersamaan). Sehingga *vortex* yang timbul akibat udara laminar yang mengenai *dimple* tidak sebesar pada penempatan *dimple* kedua, bahkan menurut Anthony C. Occhipinti, 1996, apabila *dimple* ditempatkan jauh di depan area terjadinya separasi maka justru akan mengacaukan aliran laminar pada permukaan aksial fan, sehingga akan menambah drag dari aksial fan. Hal ini terjadi karena *vortex* yang dihasilkan oleh *dimple* tidak akan berguna karena separasi belum terjadi dan *vortex* itu sendiri pada dasarnya merupakan aliran turbulen lemah (*low turbulent*), sehingga posisi *dimple* di depan area separasi akan menambah keacakan aliran. Pada posisi penempatan *dimple* kedua, dimana dua baris *dimple* ditempatkan pada posisi satu baris lebih kebelakang pada area *maksimum camber*, justru terjadi peningkatan dorongan. Hal ini kemungkinan dikarenakan area transisi perubahan aliran dari laminar ke turbulen terjadi pada area *dimple* ini, sehingga *vortex* yang dihasilkan oleh *dimple* memperpanjang

masa transisi udara dengan memberikan energi kinetik yang berguna untuk mempertahankan lapisan udara tetap berada pada permukaan *blade* sedikit lebih lama (separasi terjadi lebih kebelakang/ trailing edge).



a. separasi pada sudut pemasangan 15°



b. separasi pada sudut pemasangan 20°

Gambar 4.14 pengaruh *dimple* penempatan posisi terhadap penundaan separasi

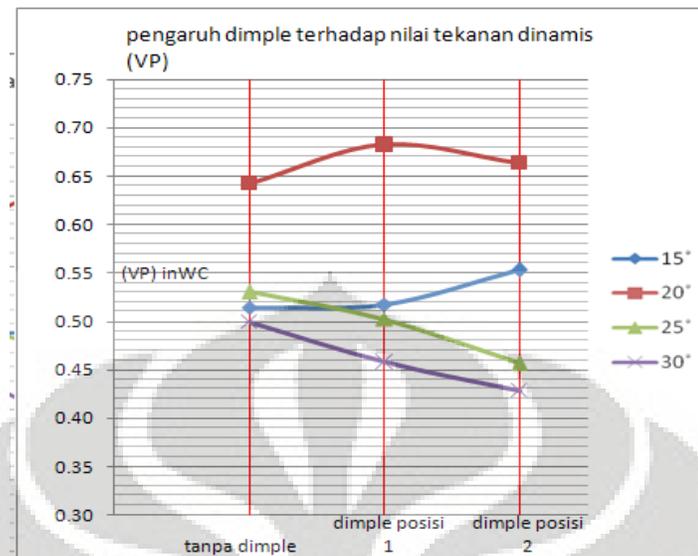
Hal berkebalikan terjadi pada sudut yang lebih besar, misalnya pada sudut 20° , dimana posisi penempatan yang optimal adalah posisi *dimple* pertama. Hal terjadi karena dengan ditambahkan kemiringan sudut pemasangan *blade*, maka separasi terjadi semakin kedepan, sehingga penempatan *dimple* pada posisi depan

(posisi *dimple* 1) akan menguntungkan. Sedangkan pada posisi penempatan *dimple* dibelakang area terjadinya separasi seharusnya tidak akan memberikan efek apapun karena karena tidak ada aliran laminar yang akan melalui permukaan *dimple* akibat separasi telah lebih dulu terjadi.. Namun, pada posisi penempatan *dimple* kedua masih terjadi peningkatan dorongan. Hal ini kemungkinan terjadi karena masih terdapat lapisan udara yang mengenai sebagian *dimple* sebelum separasi terjadi. Lapisan yang mengenai *dimple* tersebut kemungkinan merupakan lapisan udara transisi yang masih berada pada area permukaan *dimple*. Kemungkinan *dimple* yang dimaksud adalah *dimple* baris tengah yang digunakan bersamaan pada posisi penempatan pertama dan kedua.

Fenomena yang aneh terjadi pada sudut yang lebih besar yaitu pada 25° dan 30° . Menurut Anthony C Occhipinti, penempatan *dimple* pada area dibelakang separasi terjadi tidak akan berfungsi atau tidak akan mempengaruhi performa aerodinamis dari aksial fan. Pengurangan performa aerodinamis dari aksial fan pada sudut 25° dan 30° kemungkinan terjadi karena penambahan getaran yang diakibatkan oleh diperbesarnya sudut pemasangan *blade* sehingga perputaran aksial fan menjadi tidak stabil atau karena pengaruh aliran acak pada sisi hisap aksial fan yang mengalir ke *dimple*. Kemungkinan lain adalah karena udara luar yang masuk ke sisi hisap aksial fan.

Pengaruh *dimple* lain yang diharapkan adalah penundaan *stall* pada sudut yang lebih besar. Namun, pada pengujian yang dilakukan pada aksial fan *airfoil* dengan ukuran 240mm yang ditambahkan *dimple* dengan dimensi dan posisi yang diujikan tidak memperlihatkan perubahan kenaikan sudut optimal pemasangan *blade*. Pengujian oleh Chistian L Belady mengenai efek pemberian *dimple* pada kipas angin *airfoil* untuk pendinginan berhasil memperbesar sudut optimal pemasangan *blade* sebelum *stall* terjadi. Pada pengujian aksial fan kemungkinan terjadi kenaikan sudut optimal pemasangan *blade* sebelum terjadi *stall* tapi dengan penambahan sudut yang kecil (kurang dari 5°).

Untuk mengetahui efek pemberian *dimple* terhadap perubahan tekanan dinamis (*velocity pressure*) dapat digambarkan pada grafik dibawah.



Gambar 4.15 pengaruh *dimple* terhadap tekanan dinamis (VP)

Pengaruh pemberian *dimple* terhadap tekanan dinamis hampir sama dengan pengaruh terhadap dorongan karena tekanan dinamis merupakan fungsi dari kecepatan. Dimana kecepatan udara yang dihasilkan berbanding lurus dengan dorongan dari hasil pengambilan data. Pada sudut 15° tekanan dinamis setelah pemberian *dimple* mengalami kenaikan dikarenakan peningkatan kecepatan aliran udara pada arah aksial. Hal yang sama juga terjadi pada sudut 20° . Dan setelah terjadi stall pada sudut 20° nilai kecepatan aksial berkurang pada sudut pemasangan *blade* yang lebih besar setelah ditambahkan aplikasi *dimple* sehingga mengakibatkan penurunan pada tekanan dinamisnya (VP).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Pada variasi sudut pemasangan blade sebelum terjadi stall, dimple pada permukaan blade dapat mengoptimalkan performa aerodinamis dari aksial fan dengan cara menekan atau menunda terjadinya separasi udara pada permukaan blade. Namun, pada sudut yang lebih besar dimple tidak lagi bisa mengoptimalkan performa aerodinamis aksial fan
2. Posisi penempatan dimple ditentukan oleh area terjadinya separasi. Semakin besar sudut pemasangan dimple maka separasi terjadi lebih ke depan (ke arah leading edge). Oleh karena itu, semakin diperbesarnya sudut pemasangan blade, maka penempatan dimple akan optimal apabila diposisikan semakin ke depan (leading edge) atau ke arah separasi mungkin terjadi.
3. Dimple yang ditempatkan pada permukaan blade aksial fan jenis airfoil berdiameter 6400 mm dan diameter hub 160 mm berjumlah 10 blade yang diputar pada 2800 rpm, memberikan hasil yang optimal pada sudut pemasangan blade 15° dan 20° . Pada sudut 15° dimple dengan posisi penempatan 2 (belakang area maksimum camber) memberikan hasil yang lebih optimal dibanding posisi penempatan 1 (depan area maksimum camber). Hal berkebalikan terjadi pada sudut 20°

5.2 SARAN

Dari penelitian ini ada beberapa saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya, antara lain adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh dimple terhadap perubahan putaran aksial fan, maka perlu dilakukan pemvariasian putaran dari aksial fan. Perbedaan putaran sebelum dan sesudah penambahan dimple dapat diketahui dengan alat ukur putaran.

2. Untuk hasil yang lebih akurat, maka disarankan menggunakan alat uji yang lebih sensitif , contohnya wind tunnel. Dan untuk mempelajari skema aliran dibutuhkan bantuan software.



Daftar Pustaka

- Bleier, Frank P. *Fan Handbook, Selection Application & Design*. New York: McGraw-Hill. 1997
- Anderson, John D Jr. *Fundamental Aerodynamics. 3rd Edition*. New York, McGraw-Hill. 2001
- Occhipinti, Anthony C. Hydrofoil and Airfoil. *United States Patent, 5,540,406*. 1995
- Belady, Chistian L., Zeighami, Roy M. Fan Blade Providing Enhanced Performance in Air Movement. *United States Patent, 6,538,887 B2*. 2003
- Rahim, Febri Razakur. *Analisis Aaliran Udara yang Melalui Fan dan Integrasinya ke Dalam Sistem Circular Hovercraft Proto X-1*, Skripsi. 2007/2008
- Bureau of Energy Efficiency (BEE), Government of India. *Energy Efficiency Guide Book*, chapter 5, p 93-112. 2004