ANALISA ALIRAN FLUIDA AKIBAT KERUSAKAN 3 BLADE PADA *INDUCED DRAFT FAN*

Nama Mahasiswa : Samuel Anderson Tambunan
NRP : 4209 100 074
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Irfan Syarif Arief ST, MT.

Abstrak

Induced Draft Fan merupakan bagian dari sistem pembangkit listrik. Salah satu dari komponen *Induced Draft Fan* ini mengalami kerusakan pada daun *blade*nya. *Induced Draft Fan* ini berjenis *axial compressor* yang memiliki 16 buah *blade*, *blade* bekerja secara CPP (*Controlable Pitch Propeller*)
Pada tipe *Controllable Pitch Propeller* (CPP) daun *blade* dapat berubah sudutnya untuk menyesuaikan dengan RPM sehingga kecepatan sesuai dengan yang diinginkan.
Dalam keadaan normal, semua sudut *blade* akan berubah sesuai dengan perubahan kecepatan, tetapi dalam keadaan tertentu tiga *blade* mengalami kerusakan dengan *pitch* yang tidak seragam.
Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui bagaimana aliran fluida mempengaruhi gaya - gaya yang terjadi pada *blade* dan *hub* ketika daun *blade* pada *fan* mengalami kerusakan
Metode analisa yang akan digunakan adalah CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Variabel yang divariasikan adalah *pitch* dan putaran *blade*.

Kata kunci : Induced Draft Fan, Blade, Controllable Pitch Propeller, Computational Fluid Dynamics

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

FLUID ANALYSIS DUE TO DAMAGE ON 3 BLADES INDUCED DRAFT FAN

Student Name : Samuel Anderson Tambunan
NRP : 4209 100 074
Department : Marine Engineering
Supervisor : Irfan Syarif Arief ST, MT.

Abstract

Induced Draft Fan is part of the power plant system. One of the components of the Induced Draft Fan(IDF), blade suffered damage to its leaves. This axial compressor Induced Draft Fan's has 16 pieces of blades, and blades work as Controllable Pitch Propeller. On Controllable Pitch Propeller type (CPP) leaf blade changes its angle to adjust the speed according to RPM desired.

Under normal circumstances, all the blade angle will change according to the change of pace, but in certain circumstances, three blades were damaged because the pitches were not uniform. The purpose of this study was to determine how fluid flow affects the force on the blade and the hub, when the leaves on the fan blade is damaged

The analysis method will be using CFD (Computational Fluid Dynamics). The Variables are varied pitch and propeller rotation.

Keyword : Induced Draft Fan,Blade, Controllable Pitch Propeller, Computational Fluid Dynamics

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Fan*

Fan merupakan salah satu jenis mesin fluida yang berfungsi untuk memindahkan fluida (udara) dengan arah dan kecepatan tertentu sesuai dengan *rotor fan* yang digunakan. Kapasitas udara yang mampu dipindahkan oleh *fan* sangat ditentukan oleh tipe *fan*. Kapasitas merupakan jumlah gas yang dipindahkan oleh *fan* tiap satuan waktu, jika diukur dalam unit volum, maka kapasitas yang terjadi adalah kapasitas volumetrik yang biasanya dinotasikan dengan huruf Q dan kapasitas massa gas yang dipindahkan oleh *fan* adalah sebagai berikut :

$$m = P \times Q$$

Efisiensi *fan* adalah perbandingan antara daya yang dipindahkan ke aliran udara dengan daya yang dikirimkan oleh motor ke *fan*. Daya aliran udara adalah hasil dari tekanan dan aliran, dikoreksi untuk konsistensi unit.

Gambar 2.1 *Induced Draft Fan*

2.1.1 *Controllable Pitch Propeller*

Blade dengan sistem *Controllable Pitch Propeler* (*CPP*) adalah *blade* yang dapat mengubah/ mengatur *pitch blade* seperti pada *propeler*. *Pitch* adalah jarak aksial yang ditempuh/diambil oleh *Blade* pada satu kali putaran penuh (3600). CPP dapat menyesuaikan *pitch daun blade*nya (*pitch* dapat dirubah) apabila terjadi perubahan keadaan rpm dan perubahan beban yang dipengaruhi oleh keadaan pada saat *Fan* beroperasi. Pada keadaan dimana terjadi kesalahan dalam penentuan *pitch* dari *blade* maka hal ini akan memberikan dampak pada operasional motor penggerak *fan*

Gambar 2.2 *Induced Draft Fan*

2.2 *Bearing*

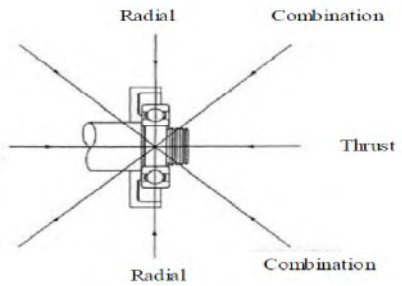
Bearing (bantalan) adalah elemen mesin yang menumpu poros yang mempunyai beban, sehingga putaran atau gerakan bolak – baliknya dapat berlangsung secara langsung dan mempunyai umur yang panjang. *Bearing* harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik. Jika *bearing* tidak berfungsi dengan baik maka proses seluruh sistem tidak dapat bekerja secara semestinya.

Dalam sejarah modern desain dan penggunaan *bearing* yang terdokumentasi dengan baik dimulai oleh Leonardo Davinci (23). Dia menggunakan *roller bearing* untuk kincir angin dan penggilingan gandum paten. Paten pertama tentang *bearing* didaftarkan di prancis 400 tahun kemudian. Selanjutnya katalog *bearing* sebagai komponen anti gesek telah digunakan secara luas dengan variasi ukuran,variasi beban, variasi putaran yang sangat lebar.

2.2.1 Klasifikasi Bearing

Secara umum *bearing* dapat diklasifikasikan berdasarkan arah beban dan berdasarkan konstruksi atau mekanismenya mengatasi gesekan. Berdasarkan arah beban yang bekerja pada bantalan, seperti ditunjukkan pada gambar 2.3, bearing dapat diklasifikasikan menjadi :

- Bantalan *radial/radial bearing* : menahan beban dalam arah radial
- Bantalan *aksial/ thrust bearing* : Menahan beban dalam arah aksial
- Bantalan yang mampu menahan kombinasi beban dalam arah radial dan arah aksial



Gambar 2.3 Arah beban pada *bearing*

Berdasarkan gerakan dikelompokkan kedalam

- Bantalan luncur yang terdiri dari; bantalan radial, bantalan aksial, bantalan khusus
- Bantalan gelinding yang terdiri dari bantalan bola, bantalan peluru, bantalan jarum, bantalan rol bulat

2.2.2 Perbedaan bantalan (*Bearing*) luncur dan bantalan gelinding

a. Bantalan Luncur

- Mampu menumpu poros putaran tinggi
- Konstruksi sederhana
- Pembuatan dan pemasangan dapat dilakukan dengan mudah
- Gesekan sangat besar pada saat start sehingga memerlukan torsi awal yang besar
- Pelumasan tidak sederhana
- Gesekan yang terjadi sangat besar
- Panas yang dihasilkan cukup tinggi
- Dengan sistem pelumasan yang baik, bantalan luncur dapat meredam tumbukan dan getaran sehingga hampir tak bersuara
- Tidak memerlukan ketelitian yang tinggi sehingga harganya cukup murah

b. Bantalan gelinding

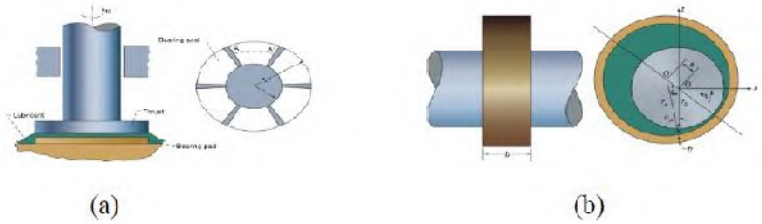
- Cocok untuk beban yang lebih kecil dibandingkan dengan bantalan luncur
- Putaran dibatasi oleh adanya gaya sentrifugal elemen gelinding pada bantalan
- Konstruksinya rumit dan proses pembuatan sulit
- Harganya lebih mahal dibandingkan dengan bantalan luncur
- Produksi pembuatan dilakukan dalam standarisasi
- Gesekan sangat kecil

- Pelumasan sangat sederhana misalnya dengan *grease*
- Gerakan elemen gelinding menyebabkan suara berisik

2.2.3 *Slider Bearing* (Bantalan Luncur)

Sliding Bearing memerlukan geseran langsung dari elemen yang membawa beban pada tumpuannya. Hal ini berbeda dengan *rolling element bearing* dimana bola atau *roller* dipasang diantara dua permukaan geser. *Slider bearing* atau sering juga disebut *plain bearing* terdiri atas dua jenis seperti yang ditunjukkan oleh gambar dibawah yaitu :

- *Journal* atau *sleeve bearing*, yang bentuknya silindris dan menahan beban radial (yang tegak lurus terhadap sumbu poros)
- *Thrust bearing*, yang bentuknya biasanya datar, dimana pada kasus poros yang berputar, dapat menahan beban yang searah dengan sumbu poros



Gambar 2.4 Sliderbearing, a) thrust bearing & b) Journal bearing

Pada kasus poros yang berputar, bagian poros yang terkontak dengan bantalan disebut *journal*. Bagian yang datar pada bantalan yang melawan gaya aksial disebut *thrustsufaces*. Bearing ini sendiri dapat disatukan dengan dengan rumah atau *crankcase*. Tetapi biasanya berupa *shell* tipis yang dapat diganti dengan mudah dan yang menyediakan

permukaan bantalan yang terbuat dari material tertentu seperti *babbit* atau *bronze*. Ketika proses bongkar pasang tidak memerlukan pemisahan bantalan, bagian tertentu pada bantalan dapat dibuat sebagai sebuah dinding silindris yang ditekan pada lubang dirumah bantalan. Bagian bantalan ini disebut sebagai *bushing*.

Prosedur desain bantalan luncur :

- Hitung panjang bantalan dengan memilih L/d dari tabel bantalan luncur
- Hitung tekanan bantalan : p = $\frac{F}{L\ x\ d}$
- Tentukan viskositas pelumas (Z) yang diperlukan
- Hitung modulus bantalan (perbandingan) $\frac{Z.n}{P}$ dengan n : putaran poros
- Hitung *ratio clearance* : $\frac{C}{d}$
- Hitung koefisien gesekan (μ) = $\frac{F}{L\ x\ d}\left(\frac{Z.n}{P}\right)\left(\frac{d}{c}\right) + k$
  k : faktor koreksi = 0,0002 untuk L/d dengan nilai (0,75 – 2,8
- Hitung panas yang timbul : $H_G = \mu\ F\ v$
- Hitung panas yang dapat dipindahkan : $H_D = C.A\ (t_b - t_a)$
  C : koefisien perpindahan panas
  A : Luas proyeksi = d x L
  t_b : temperature bantalan
  t_a : temperature udara
- Catatan dalam desain :
  Modulus bantalan : $\frac{Z.n}{p}$ = K
  $\frac{Z.n}{p}$ = K normal = 3 K
  $\frac{Z.n}{p}$ beban berat = 15 K
- Pemilihan L/d :
  - makin kecil L/d, maka makin rendah pula kemampuan bantalan menahan beban.
  - makin besar L/d, makin besar pula panas yang timbul.

- makin besar L/d, kebocoran pelumas di ujung bantalan dapat diperkecil.
- makin besar L/d, menyebabkan tekanan tidak merata.
- makin besar L/d, menyebabkan temperatur makin tinggi
- L/d harus ditentukan berdasarkan lokasi yang tersedia.
- L/d tergantung dari jenis bahan bantalan, makin lunak maka L/d makin besar.

- Harga koefisien perpindahan panas (C) :
  - bantalan dengan ventilasi : 0,0007 – 0,0020
  - bantalan tanpa ventilasi : 0,0002 – 0,0006, satuan kkal/min.$cm^2/{}^0C$
- Temperatur bantalan : $(t_b - t_a) = 0{,}5\ (t_o - t_a)$
  t_b : temperatur bantalan
  t_a : temperatur udara
  t_o : temperatur lapisan pelumas, tidak lebih dari 60°

2.2.4 Bantalan Gelinding

Beban yang dapat ditahan oleh bantalan tidak berputar disebut adalah beban statis. Beban statis dasar didefinisikan sebagai beban radial atau beban aksial pada deformasi permanen pada bola, beban terbesar mencapai 0,0001 kali diameter. Pada bantalan bola satu alur, beban statis dasar berhubungan pada komponen radial pada beban yang terjadi karena perpindahan letak radial *ring* bantalan satu dengan yang lainnya.
Pada beberapa aplikasi dimana rotasi berikutnya pada bantalan lebih lambat dan kehalusan pada gesekan tidak terlalu diperhatikan, deformasi permanen lebih besar dapat diijinkan. Dengan kata lain dimana kehalusan diperlukan atau gesekan sangat diperlukan, deformasi permanen total yang kecil dapat diijinkan.
Berdasarkan IS:3823-1984, beban dasar (Co) dalam N bantalan gelinding sebagai berikut :

- Untuk bantalan bola radial, beban dasar statis radial (Co) dapat diperoleh dengan :

$$Co = fo \,.\, i \,.\, Z.\, D^2 \,.\, \cos \alpha$$

Keterangan :

i : banyaknya alur pada bantalan bola

Z : banyaknya bola pada tiap alur

D : diameter bola.

α. : Sudut kontak, nilai sudut antara garis aksi pada beban bola dengan bidang tegak lurus *axis* dari bantalan

o : faktor bantalan (tergantung pada tipe bantalan), nilai faktor bantalan (fo) untuk bantalan yang terbuat dari baja yang dikeraskan dapat meng

fo = 0,34 bantalan bola dengan pengaturan sendi ri

fo = 1,25 untuk kontak radial dan bantalan alur sudut

- Untuk bantalan *roller* radial, beban statis dasar radial dapat diperoleh dengan

$$Co = fo.\ i.\ Z.\ Le.\ D.\ \cos \alpha$$

Keterangan :

i : banyaknya alur pada bantalan bola

Z : banyaknya *roller* per alur

Le : Panjang efektif kontak antara *roller* dengan Cincin (washer) dimana kontak yang terpendek (mm). sama dengan panjang keseluruhan minus *roller chamfer* atau grinding *undercut.*

D : Diameter roller (mm). Jika pada *tapered roller* digunakan diameter utamanya

α. : Sudut kontak, nilai sudut antara garis aksi pada beban bola dengan bidang tegak lurus *axis* dari bantalan

fo : 21,6 untuk bantalan yang terbuat dari baja yang terbuat dari baja yang dikeraskan.

- Bantalan bola aksial beban aksial dasar dihitung dengan :

$$Co = fo.\ Z.\ D^2 \sin \alpha$$

Keterangan :

Z : banyaknya bola pada tiap alur

Fo : 49 bantalan terbuat dari baja yang dikeraskan

- Untuk bantalan *roller axial* beban statis dasar radial dapat diperoleh dengan

$$Co = fo.\ i.\ Z.\ Le.\ D.\ \sin \alpha$$

Keterangan :

Z : banyaknya bola pada tiap alur

Fo : 98,1 bantalan terbuat dari baja yang dikeraskan

2.2.5 Beban statis *ekuivalen* untuk bantalan *rol*

Beban *ekuivalen* statis dapat didefinisikan sebagai beban radial statis atau beban aksial dimana ditambahkan pada persamaan menjadi sama seperti deformasi permanent total yang terjadi pada bola yang menerima beban besar

Beban ekuivalen radial statis untuk bantalan radial atau bantalan rol dalam kondisi menerima kombinasi antara beban radial dan beban aksial atau beban tekan yang diberikan dengan pembesaran yang didapatkan dari persamaan di bawah ini.

$$Fro = (X_0 Fr + Y_0 Fa)\ Ks$$

Keterangan :

Fro : beban ekuivalen radial statis (N)

Fr : beban radial (N)

Fa : beban aksial (N)

X_0 : faktor beban radial

Y_0 : faktor beban aksial

Ks : faktor *service*

Ks = 1 uniform and *steady load*

= 1,5 untuk light *shock load*

= 2,5 untuk heavy *shock load*

Tabel 2.1 Harga X_0 dan Y_0 untuk beberapa bantalan

No.	Type of Bearing	Single Row Bearing		Double Row Bearing	
		X_0	Y_0	X_0	Y_0
1.	Radial contact groove ball bearings	0.60	0.50	0.60	0.50
2.	Self aligning ball bearing and tapered roller bearing	0.50	0.22 cot θ	1	0.44 cot θ
3.	Angular contact groove bearing :				
	$\theta = 15^0$	0.50	0.46	1	0.92
	$\theta = 20^0$	0.50	0.42	1	0.84
	$\theta = 25^0$	0.50	0.38	1	0.76
	$\theta = 30^0$	0.50	0.33	1	0.66
	$\theta = 35^0$	0.50	0.29	1	0.58
	$\theta = 40^0$	0.50	0.26	1	0.52
	$\theta = 45^0$	0.50	0.22	1	0.44

2.2.6 Beban dinamis ekuivalen bantalan gelinding

Pembebanan dinamik ekuivalen dapat didefinisikan sebagai harga konstan dari pembebanan radial bergerak dimana jika diberikan kepada sebuah bantalan dengan cincin dalam yang berputar dan cincin luar yang diam akan memberikan umur kerja yang sama dan mencapai harga kondisi sebenarnya pada pembebanan dan rotasinya.

$$Fe = (Xr.V.Fr + Ya \, . \, Fa \,) \, Ks$$

Keterangan :

V : faktor rotasi
= 1 untuk semua tipe bantalan ketika cincin dalam yang Berputar
= 1 untuk tipe bantalan *self aligning* ketika cincin dalam diam

Ks : faktor *service*

2.2.7 Umur Bantalan

Umur pakai bantalan berdasarkan putaran dapat dihitung dengan persamaan :

$$L = \left(\frac{C}{Fe}\right)^k \text{ x } 10^6 \quad \text{(dalam putaran)}$$

2.2.8 Beban dinamis bantalan

$$C = Fe \left(\frac{L}{10^6}\right)^{\frac{1}{k}}$$

Keterangan :

L : Umur pakai dalam putaran

C : beban dinamis ijin (N)

Fe : beban dinamis ekuivalen (N)

k : factor dinamis bantalan

= 3 untuk bantalan bola

= $\frac{10}{3}$ untuk bantalan *roller*

n : putaran (r/min)

Hubungan pendekatan antara umur pakai dalam putaran dengan jam kerja bantalan (L_H) sebagai berikut :

$L = 60 \times n \times L_H$ (dalam putaran)

Tabel 2.2 Harga faktor *service* (Ks)

S.No.	*Type of service*	*Service factor (K_S) for radial ball bearings*
1.	Uniform and steady load	1.0
2.	Light shock load	1.5
3.	Moderate shock load	2.0
4.	Heavy shock load	2.5
5.	Extreme shock load	3.0

Tabel 2.3 Harga Xr dan Ya untuk beban dinamis *ekuivalen*

Type of bearing	Specifications	$\frac{F_a}{F_r} \le e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$		e
		X_r	Y_a	X_r	Y_a	
Deep groove ball bearing	$\frac{F_a}{C_0}$ = 0,025				2,0	0,22
	= 0,04				1,8	0,24
	= 0,07	1	0	0,56	1,6	0,27
	= 0,13				1,4	0,31
	= 0,25				1,2	0,37
	= 0,50				1,0	0,44
Angular contact ball bearing	Single row		0	0,35	0,57	1,14
	Two rows in tandem		0	0,35	0,57	1,14
	Two rows back to back	1	0,55	0,57	0,93	1,14
	Double row		0,73	0,62	1,17	0,86
Self aligning bearings	Light series, for bores :					
	10 – 20 mm		1,3		2,0	0,50
	25 – 35 mm		1,7		2,6	0,37
	40 – 45 mm		2,0		3,1	0,31
	50 – 65 mm		2,3		3,5	0,28
	70 – 100 mm	1	2,4	0,65	3,8	0,26
	105 – 110 mm		2,3		3,5	0,28
	Medium series for bores :					
	12 mm		1,0	0,65	1,6	0,63
	15 – 20 mm		1,2		1,9	0,52
	25 50 mm		1,5		2,3	0,43
	55 – 90 mm		1,6		2,5	0,39
Spherical roller bearings	For bores :					
	25 – 35 mm		2,1		3,1	0,32
	40 – 45 mm	1	2,5	0,67	3,7	0,27
	50 – 100 mm		2,9		4,4	0,23
	100 – 200 mm		2,6		3,9	0,26
Taper roller bearings	For bores :					
	20 – 40 mm				1,90	0,37
	45 – 110 mm	1	0	0,4	1,45	0,44
	120 – 150 mm				1,35	0,41

Tabel 2.4 Umur Pakai Bantalan

S. No.	*Application of bearing*	*Life of bearing, in hours*
1.	Instruments and apparatus that are rarely used (*a*) Demonstratiion apparatus, mechanism for operating sliding doors. (*b*) Aircraft engines.	 500 1000 – 2000
2.	Machines used for short periods or intermittently and whose breakdown would not have serious consequences *e.g.*, hand tools, lifting tackle in workshops, and operated machines, agricultural machines, cranes in erecting shops, domestic machines.	4000 – 8000
3.	Machines working intermittently whose breakdown would have serious consequences *e.g.*, auxillary machinery in power stations, conveyor plant for flow production, lifts, cranes for piece goods, machine tools used frequently.	8000 – 12 000
4.	Machines working 8 hours per day and not always fully utilised *e.g.*, stationary electric motors, general purpose gear units.	12 000 – 20 000
5.	Machines working 8 hours per day and fully utilised *e.g.*, machines for the engineering industry, cranes for bulk goods, ventilating fans, counter shafts.	20 000 – 30 000
6.	Machines working 24 hours per day *e.g.*, separators, compressors, pumps, mine hoists, naval vessels.	40 000 – 60 000
7.	Machines required to work with high degree of reliability 24 hours per day *e.g.*, pulp and paper making machinery, public power plants, mine-pumps, water works.	100 000 – 200 000

2.3 Computational Fluid Dynamic (CFD)

CFD merupakan analisa sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena yang terkait lainya seperti reaksi kimia dengan menggunakan simulasi komputer. Metode ini meliputi fenomena yang berhubungan dengan aliran fluida seperti sistem *liquid* dua fase, perpindahan massa dan panas, reaksi kimia, dispersi gas atau pergerakan partikel tersuspensi.

Secara umum kerangka kerja CFD meliputi formulasi persamaan-persamaan transport yang berlaku, formulasi kondisi batas yang sesuai, pemilihan atau pengembangan kode-kode komputasi untuk mengimplementasikan teknik numerik yang digunakan. Suatu kode CFD terdiri dari tiga elemen utama yaitu *pre-processor*, *solver* dan *post processor*.

1. *Pre-processor*

Pre-processor meliputi masukan dari permasalahan aliran ke suatu program CFD dan transformasi dari masukan tersebut ke bentuk yang cocok digunakan oleh *solver*. Langkah-langkah dalam tahap ini adalah sebagai berikut :

- Pendefinisian geometri yang dianalisa
- *Grid* generation, yaitu pembagian daerah domain menjadi bagian-bagian lebih kecil ynag tidak tumpang tindih
- Seleksi fenomena fisik dan kimia yang perlu dimodelkan
- Pendefinisian properti fluida
- Pemilihan *boundary condition* (kondisi batas) pada kontrol volume atau sel yang berhimpit dengan batas domain
- Penyelesaian permasalahan aliran (kecepatan, tekanan, temperatur dan sebagainya) yang didefinisikan pada titik nodal dalam setiap sel. Keakuratan penyelesaian CFD ditentukan oleh jumlah sel dalam *grid*

2. *Solver*

Solver dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu *finite difference*, *finite element* dan metode *spectral*. Secara umum metode *numeric solver* tersebut terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut:

- Prediksi variabel aliran yang tidak diketahui dengan menggunakan fungsi sederhana
- *Diskretisasi* dengan subtitusi prediksi-prediksi tersebut menjadi persamaan-persamaan aliran utama yang berlaku dan kemudian melakukan manipulasi matematis
- Penyelesaian persamaan aljabar. Pada proses *solver*, terdapat 3 persamaan atur aliran fluida yang menyatakan hukum kekekalan fisika, yaitu : 1) massa fluida kekal; 2) laju perubahan momentum sama dengan resultansi gaya pada partikel fluida (Hukum II Newton); 3) laju perubahan energi sama dengan resultansi laju panas yang ditambahkan dan laju kerja yang diberikan pada partikel fluida (Hukum I Termodinamika).

3. Post-Processor

Post processing merupakan tahap visualisasi dari tahapan sebelumnya. *Post processor* semakin berkembang dengan majunya *engineering workstation* yang mempunyai kemampuan grafik dan visualisasi cukup besar. Alat visualisasi tersebut antara lain:

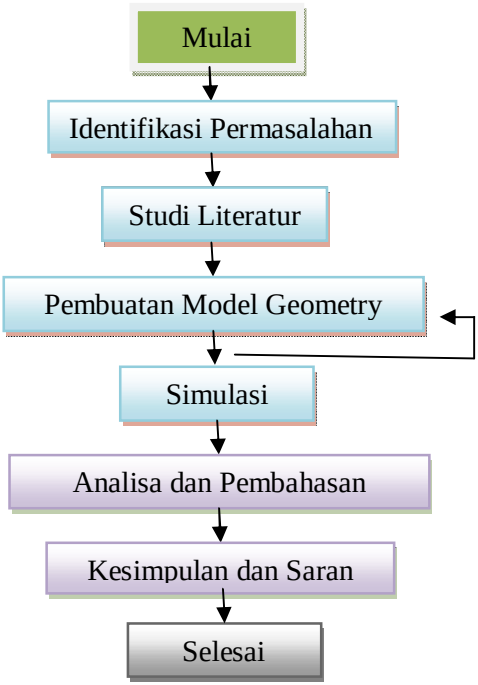
- Domain geometri dan *display*
- Plot vektor
- Plot *kontour*
- Plot 2D dan 3D *surface*
- Partikel *tracking*
- Manipulasi tampilan (translasi, skala dan sebagainya)
- Animasi *display* hasil dinamik

Dalam simulasi, model-model yang digunakan di*diskretisasi* dengan metode formulasi dan diselesaikan dengan menggunakan bermacam-macam algoritma numerik. Metode *diskretisasi* dan algoritma terbaik yang digunakan tergantung dari tipe masalah dan tingkat kedetailan yang dibutuhkan.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

BAB III
METODOLOGI

Metodologi kegiatan ini merupakan kerangka dasar dari penyelesaian masalah. Metodologi tersebut meliputi seluruh kegiatan yang akan dilaksanakan untuk memecahkan masalah atau melakukan proses analisa terhadap permasalahan ini. Metodologi ini dapat dilihat secara lengkap melalui gambar 3.1 . penjelasan untuk seluruh proses dapat dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 3.1 Metodologi pengerjaan

Penjelasan untuk seluruh proses dapat dijelaskan sebagai berikut:

3.1. Identifikasi dan perumusan masalah

Pada proses ini akan dilakukan suatu identifikasi dan perumusan masalah yaitu tentang besaran dan arah *force* yang terjadi pada *hub* kompresor sebagai resultan dari distribusi tekanan yang tidak merata dengan metode *computational fluid dynamics* (cfd), dimana variabel yang divariasikan adalah sudut beban *blade*, yang nantinya akan dihasilkan hubungan antara sudut beban *blade* dan *force* yang terjadi pada *hub* kompresor.

3.2. Studi literatur

Melakukan studi literatur dengan tujuan untuk merangkum teori-teori dasar, acuan secara umum dan khusus, serta untuk memperoleh berbagai informasi pendukung lainnya yang berhubungan dengan pengerjaan permodelan ini. Studi literatur ini dapat diperoleh dari buku, jurnal, paper atau dari internet yang mendukung bahasan dari pekerjaan ini. Selain itu bisa juga dengan melakukan tanya jawab dengan pihak yang berkepentingan dan berkompeten pada bahasan ini.

3.3. Pembutan model Geometry

Pembuatan model *induced draft fan* (IDF) SAF37.5-20-1 menggunakan software CFD. Model *induced draft fan* (IDF) SAF37.5-20-1 yang dibuat mempunyai diameter 3.758 m dengan memvariasikan perubahan sudut yaitu pada kondisi sudut normal, *open* dan *close* serta kondisi yang dipakai adalah sudut *blade* normal dan 3 sudut *blade* yang bermasalah.

3.4. Pengujian Model dan Pencatatan Data (Simulasi)

Setelah pembuatan model yang akan diuji selesai langkah selanjutnya yaitu pengujian model dan pencatatan data, pengujian model dilakukan dengan nilai putaran 735 rpm.

3.5. Analisa Data dan Pembahasan

Setelah simulasi dengan CFD selesai selanjutnya adalah analisa data dan pembahasan yaitu membandingkan data yang sudah didapat dari pengujian model pada tiap – tiap variable serta menampilkan data tersebut dalam grafik. Data – data tersebut digunakan untuk input analisa tegangan pada poros dan bearing.

3.6 Kesimpulan dan Saran

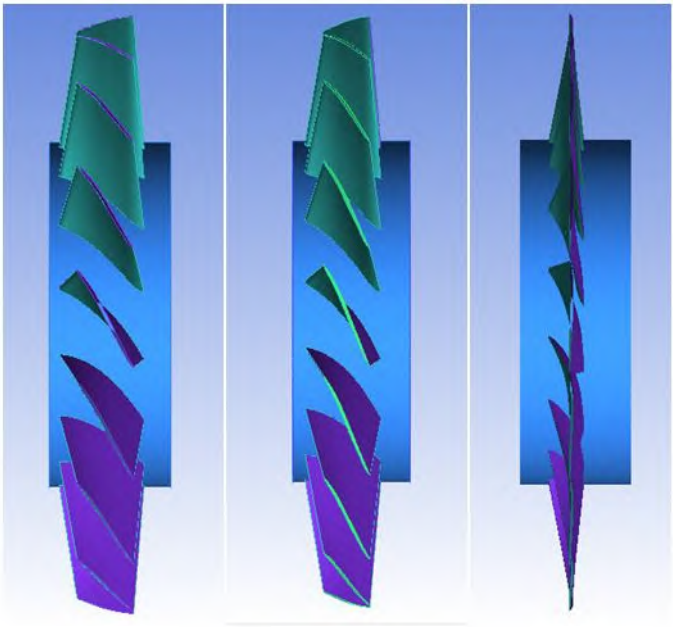
Kesimpulan dan saran dari akhir kajian ini merupakan penambahan wacana untuk membantu dalam mengambil keputusan dan rekomendasi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

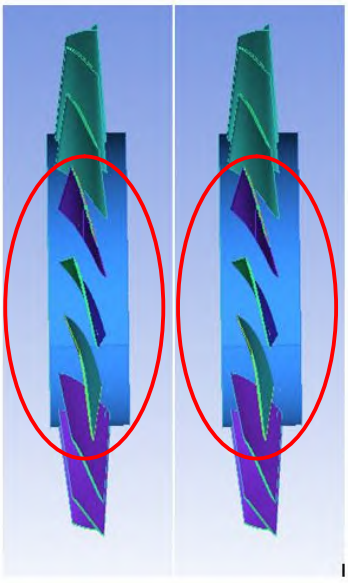
4.1 Analisa Model Geometri

Pada gambar dibawah ialah berbagai pandangan model ID *Fan* ketika kondisi normal dan kondisi bermasalah. Kondisi normal terdiri atas posisi *open* (30^o), posisi antara (25^o, 20^o dan 15^o) dan posisi *close* (5^o) ditunjukan pada gambar 4.1(a). tetapi ketika kondisi bermasalah geometri yang berhasil dibuat pada posisi *open* dan posisi *midle* seperti ditunjukan pada gambar 4.1(b). Untuk kondisi bermasalah posisi *close* tidak dapat di buat karena jarak antar *blade* sudah saling berdekatan.



Open **Midle** **Close**

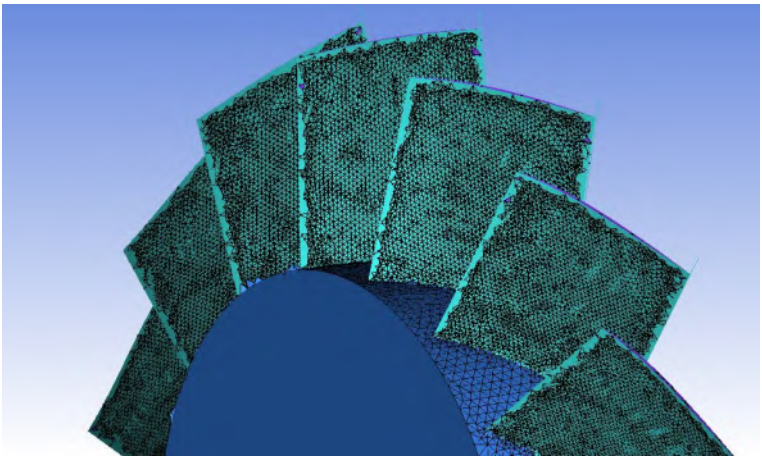
Gambar 4.1 (a)Kondisi Open, Middle, Close



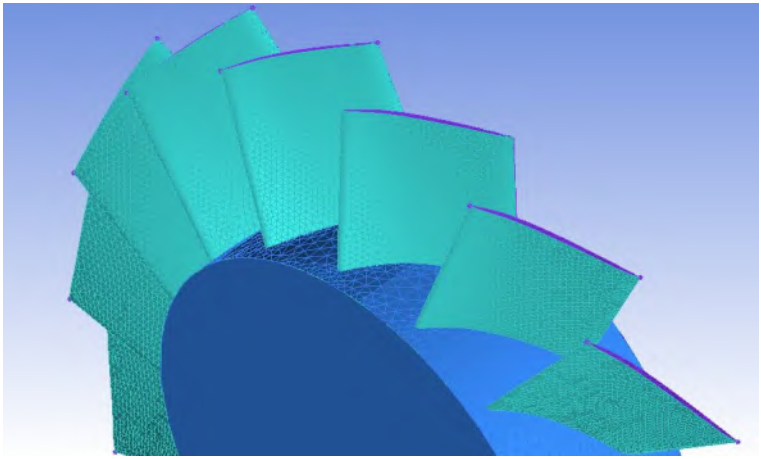
(b) Kondisi Bermasalah

4.2 Analisa *Grid* atau *Meshing*

Adapun hal yang paling sulit dalam persiapan simulasi ialah meningkatkan kualitas *meshing*. Kualitas *meshing* tidak ditentukan dengan kecilnya *mesh* atau jaring, tetapi kesempurnaan *mesh* yang mampu membentuk *mesh* atau *grid* mengikuti bentuk permukaan *surface* suatu benda. Gambar 4.2 (a) ialah gambaran *mesh* atau *grid* yang tidak sempurna (benar) ditunjukan dengan tanda bentuk elips berwarna merah, sedangkan pada gambar 4.2 (b) menunjukan bentuk *grid* atau *mesh* yang baik. Adanya ketidaksempurnaan bentuk *grid* atau *mesh* disebabkan ketidaktelitian dalam menyusun parameter-parameter geometri seperti bentuk kurva dan *surface*.



Gambar 4.2 (a) Grid yang tidak sempurna masih berlubang di leading edge



(b)Grid yang baik untuk proses selanjutnya

“halaman ini sengaja dikosongkan”

4.3 Analisa Data Simulasi CFD

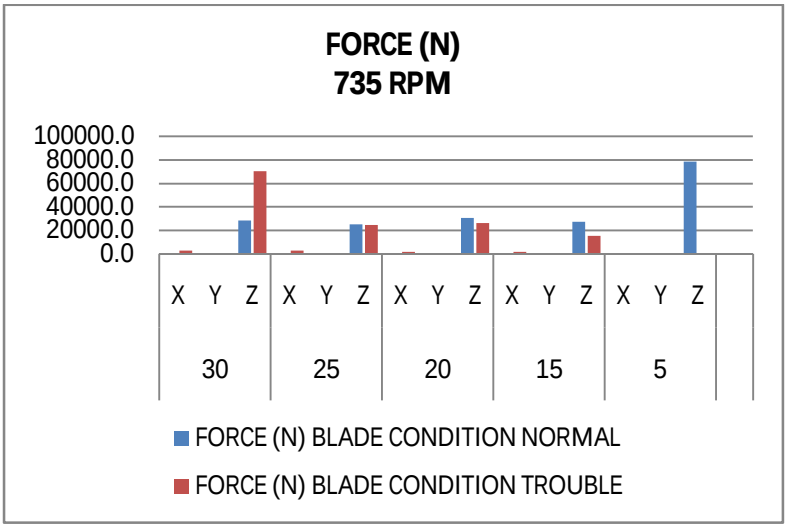
Parameter yang disimulasikan pada simulasi CFD ialah ketika *blade* beroperasi normal dan beroperasi tidak normal yaitu terdapat gangguan 3 sudut yang bermasalah terhadap sudut *pitch*nya. Dari dua kondisi tersebut terdapat 2 parameter lainnya antara lain parameter variasi putaran (RPM) pada kondisi 100% (735 rpm), 80% (588 rpm), 60% (441 rpm), 40% (294 rpm) dan 20% (147 rpm), selanjutnya parameter lainnya adalah variasi parameter sudut (*pitch*) yaitu sudut 30° (*open*), 25°, 15°, dan 5° (Closed).

Ketika melakukan simulasi akan didapatkan hasil yang dicari. Adapun hasil yang dicari ialah besaran gaya dan momen yang terjadi pada *blade* dan akan mempengaruhi tambahan beban pada poros ID *FAN* yang akan berpengaruh pada tumpuan poros (*bearing*) yang dipasang pada ID *FAN*. Di bawah ini akan dijabarkan hasil simulasi dan grafik pertambahan gaya.

Tabel 4.1 Perbandingan gaya yang terjadi pada *blade* putaran 100% (735 rpm)

FORCE (N)						
	BLADE CONDITION		NORMAL	TROUBLE	SELISIH	PERSENTASE
735	30	X	12.2	2875.9	2863.7	23558.0
		Y	15.3	1006.9	991.6	6463.2
		Z	29031.3	70448.6	41417.3	142.7
	25	X	149.1	2984.1	2835.0	1900.9
		Y	18.3	24600.8	24582.6	134517.7
		Z	25769.8	2984.1	22785.7	88.4
	20	X	70.6	1761.4	1690.9	2395.7
		Y	219.6	595.7	376.1	171.3
		Z	31221.8	26500.9	4720.9	15.1
	15	X	14.3	1738.0	1723.7	12012.5
		Y	10.4	198.3	187.9	1807.9
		Z	27821.9	15229.5	12592.4	45.3
	0	X	688.5	0.0	688.5	100.0
		Y	64.9	0.0	64.9	100.0
		Z	78955.6	0.0	-78955.6	-100.0

Pada tabel dibawah dapat dideskripsikan perbandingan gaya – gaya yang terjadi pada kondisi bermasalah yaitu kondisi 3 *blade* yang tidak sama *pitch*nya dengan kondisi normal lebih jelasnya dapat dilihat dari grafik dibawah ini.



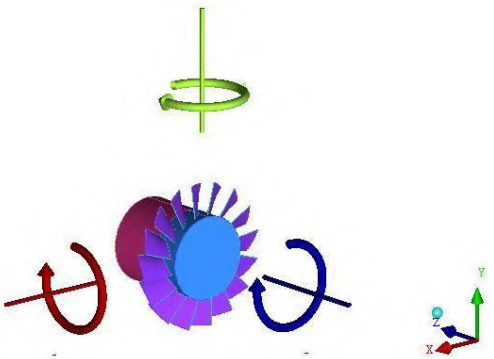
Grafik 4.1 Grafik selisih kenaikan gaya dan perbandingannya

Dari grafik 4.1 pada kondisi *open* (*pitch* 30 derajat) ada penambahan gaya aksial (arah z warna merah) sebesar 142 persen, sedangkan yang ke arah x dan y sebesar 23.558 persen dan 6.463,2. Kenaikan ini akan berpengaruh pada perhitungan y adalah nol tetapi pada kasus ini masih relatif kecil untuk kondisi normal, sedangkan pada kondisi tidak normal (*trouble*) ada kenaikan gaya yang cukup besar. Hal ini yang akan menyebabkan putaran *blade* menjadi tidak seimbang (*Unbalance*).

Di bawah ini adalah hasil pengukuran torsi dan momen yang terjadi pada *blade* dari simulasi yang telah dilakukan. Pengertian Torsi (T_z) di sini adalah putaran *blade* pada sumbu z, pada kasus ini untuk

nilai torsi untuk kondisi normal dan tidak normal tidak ada perbedaan karena energi yang dihasilkan dirubah menjadi putaran. Sedangkan pada sumbu x dan y pada *blade* menimbulkan momen puntir (M_x dan M_y) yang akan mempengaruhi distribusi tegangan pada poros ID *FAN* dan tumpuannya (*bearing*).

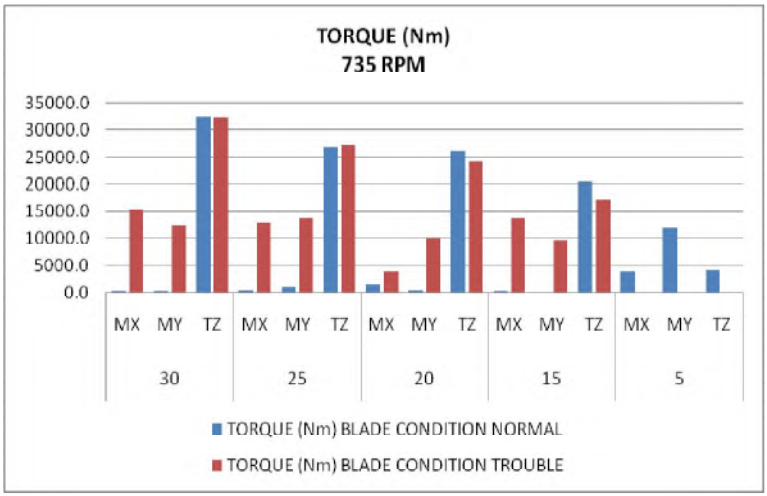
Seharusnya momen (puntiran) yang terjadi pada *blade* untuk sumbu x dan y idealnya bernilai nol atau kecil sekali, tetapi pada kondisi tidak normal ada kenaikan momen (puntiran) pada *blade* dengan sumbu x dan y yang besarnya naik lebih 100 persen. Kondisi tersebut akan menimbulkan kondisi *unbalance* pada blade, akibatnya lama-kelamaan akan menimbulkan kenaikan getaran dan *bearing* cepat rusak. Visualisasi momen dan torsi pada blade dapat dilihat dari gambar di bawah ini (Gambar 4.3).



Gambar 4.3 Visualisasi momen puntir dan torsi yang terjadi pada *blade*

Tabel 4.2 Perbandingan torsi dan momen puntir yang terjadi pada blade

TORQUE (Nm)						
	BLADE CONDITION		NORMAL	TROUBLE	SELISIH	PERSENTASE
735 Rpm	30	M_X	161,6	15389,7	15228,1	9422,1
		M_Y	208,9	12314,5	12105,5	5793,8
		T_Z	32605,2	32326,3	278,8	0,9
	25	M_X	396,6	12893,3	12496,7	3150,8
		M_Y	877,0	13752,5	12875,6	1468,2
		T_Z	26872,3	27265,7	393,5	1,5
	20	M_X	1364,3	3946,7	2582,4	189,3
		M_Y	415,4	9973,6	9558,3	2301,3
		T_Z	26192,3	24261,1	1931,3	7,4
	15	M_X	145,3	13739,9	13594,6	9353,8
		M_Y	4,5	9603,2	9598,7	214396,4
		T_Z	20422,6	17105,3	3317,3	16,2
	5	M_X	3867,9	0,0	3867,9	100,0
		M_Y	11857,1	0,0	11857,1	100,0
		T_Z	4021,7	0,0	4021,7	100,0

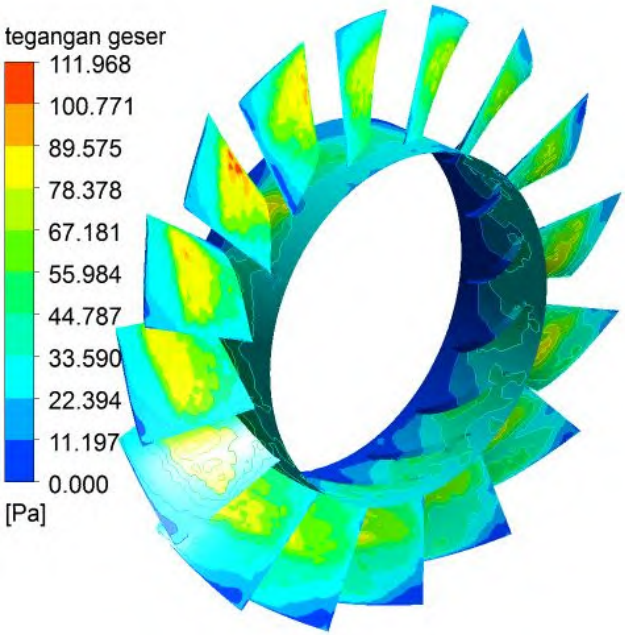


Grafik 4.2 Grafik selisih kenaikan torsi (T_Y) dan momen puntir (Mx dan My) pada blade

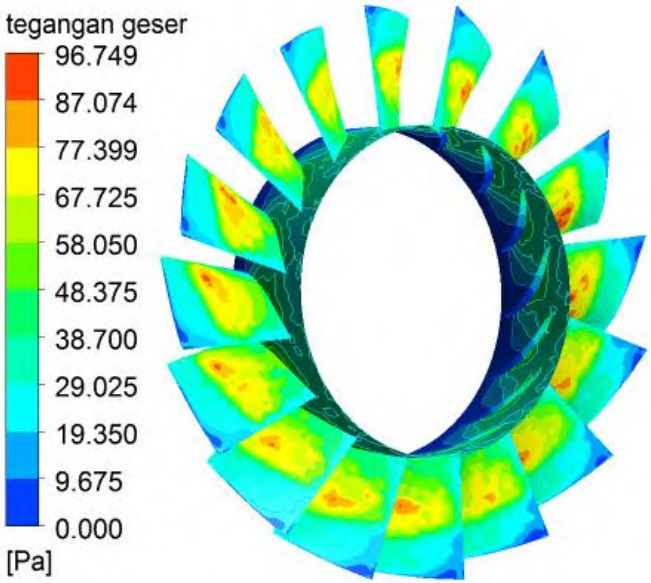
Hasil simulasi CFD diatas untuk RPM 735 (100%), sedangkan untuk rpm 80% , 60%, 40% dan 20% dapat dilihat dari lampiran laporan ini. Hasil simulasi akibat tiga *blade* sudut pitchnya tidak normal mengakibatkan distribusi gaya dan momen puntir *blade* semakin meningkat yang akan mempengaruhi distribusi gaya reaksi di tumpuan poros ID *FAN* (*bearing*).

4.4 Hasil Visualisasi Tegangan Geser

Dari gambar 4.3 a menunjukkan tegangan geser yang terjadi pada permukaan *blade* dan *hub* pada kondisi bermasalah. Nilai yang dihasilkan menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan gambar gambar 4.3 (b) pada kondisi tidak bermasalah atau normal



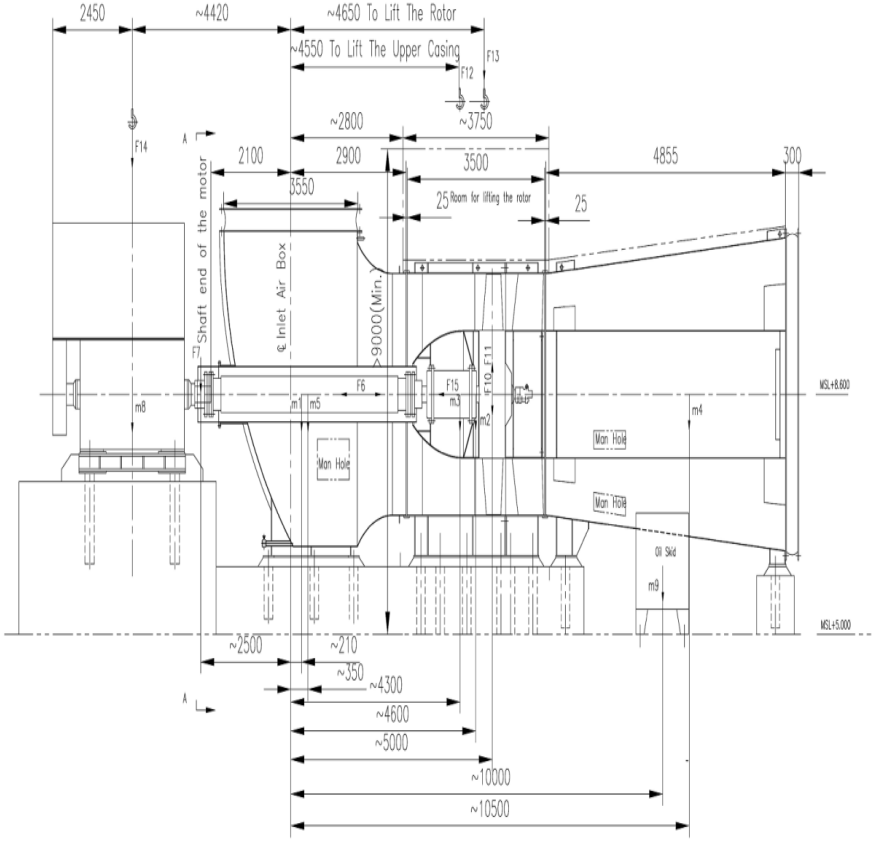
Gambar 4.4 (a) Visualisasi Tegangan Geser kondisi bermasalah



(b) Visualisasi Tegangan Geser pada kondisi Normal

4.5 Analisa tegangan pada bentangan ID *FAN*

Dibawah ini adalah gambar posisi komponen ID *FAN* dimana distribusi gaya dan berat komponen telah dijelaskan seperti gambar dibawah ini. Apabila kode F adalah besar gaya awal yang terjadi dengan besaran Newton dan Kode M adalah besar berat komponen yang terjadi dengan satuan Kg, dan detail besaran gaya dan berat dapat dilihat ditabel dibawah ini

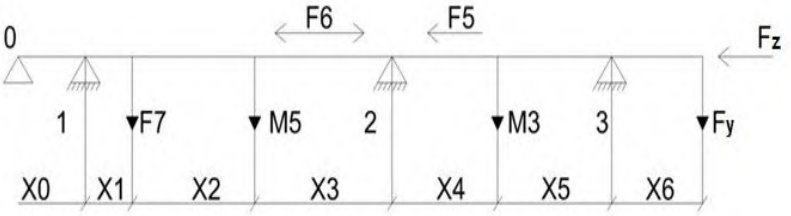


Gambar 4.5 Bentangan Induced Draft Fan

Tabel 4.3 Nilai besaran gaya dan berat komponen yang bekerja pada ID FAN

15		48657	Axial Force Caused by Total Pressure
14		316000	Dead Load of Lifting Motor
13		98896	Dead Load of Lifting Rotor
12		99120	Dead Load of Upper Casing
11		468000	Instantaneous Limit Load Caused by unbalance(Radial)
10		17000	Operating Load caused by Unbalance(Radial)
9	4500		Oil Skid Dead Load
8	31600		Motor+Base Dead Load
7		10950	Radial Force on Motor Shaft End
6		10080	Axial Force on Motor Shaft
5	2240		Intermediate Shaft & Couplings
4	8960		Diffuser with Insulation & Lagging
3	11000		Rotor
2	23500		Fan Housing with Insulation & Lagging
1	9800		Suction Box With Insulation & Lagging
No.	Mass(Kg)	Force(N)	Name of load

Metode yang digunakan untuk analisa distribusi tegangan pada tumpuan komponen ID *FAN* adalah metode Teori Tiga Momen, karena tumpuan yang terjadi lebih dari 2 tumpuan yaitu ada tiga tumpuan. Dimana tumpuan tersebut sebagai tempat *bantalan* atau *bearing* yang akan menerima gaya akibat dari gaya-gaya yang bekerja pada ID *FAN*. Sebelum melakukan analisa tegangan maka perlu dilakukan diagram superposisi dari bentuk sistem ID *FAN* pada gambar 4.5 menjadi gambar superposisi seperti gambar 4.6 dibawah ini.



Gambar 4.6 Superposisi Distribusi Gaya pada ID FAN

Keterangan

- Tumpuan/ penyangga/*bearing* motor
- Tumpuan/ penyangga/ tumpuan (*roll* dan *ball bearing*)
- Tumpuan/ penyangga/ tumpuan (*roll bearing*)

Gambar 4.5 menunjukkan data tentang gaya, berat, jarak antar gaya dan tumpukan yang harus dicari besar tegangan gaya yang terjadi

X_1 = 0,564 m

X_2 = 2,54 m

X_3 = 2,55 m + 0,564 m = 3,114 m

Dari 2900 mm – 350 mm = 2,55 m, ditambah jarak *flange* ke *bearing* (2) 0,564 m jadi total = 3,114 m. (lihat gambar 4.4)

X_4 = dari (4300 mm – 2900 mm – 564 mm)

= (4,3 – 2,9 – 0,564) m = 0,836 m (lihat gambar 4.5)

X_5 = 0,3 m (dari 4600 mm – 4300 mm = 300 mm = 0,3 m) (lihat gambar 4.4)

X_6 = 0,4 m

Dengan menggunakan teori tiga momen maka momen yang terjadi pada tumpuan 1,2 dan 3 harus dicari, momen tumpuan tersebut adalah M_1,M_2 dan M_3 . Maka persamaan Pertama untuk teori tiga momen antara tumpuan 0,1, dan 2 adalah

$x_0\mathbf{M_0} + 2(x_0 + (x_1+x_2+x_3)\,\mathbf{M_1} + (x_1+x_2+x_3)\,\mathbf{M_2} = A_1 + A_2$

Karena tumpuan 0 pada motor diasumsikan dekat dengan motor maka, bantalan dengan motor tidak ada momen akibatnya nilai Lo= 0 dan Mo = 0 dimana data jarak dan momen diasumsikan kepersamaannya menjadi ;

$2\,(0+0{,}564+ 2{,}45 + 3{,}114)\,M_1 + (0{,}564 + 2{,}45 + 3{,}114)\,M_2 = A_1+A_2$

Jadi penyederhanaan persamaan (1) menjadi ;

$2\,(6{,}128)\,M_1 + (6{,}128)\,M_2 = A_1+A_2$ ..... Persamaan (1)

Maka persamaan A_1 dan A_2 dicari dengan persamaan dibawah ini

$$A_1 = -\sum P_{L01}\, ab\left(1 + \frac{a}{L_{L01}}\right)$$

= 0, karena tidak ada gaya antara tumpuan 0 dan 1.

$$A_2 = -\sum P_{R12}\, a'b'\left(1 + \frac{a'}{L_{R12}}\right)\frac{I_L}{I_R}$$

Dengan asumsi momen inersia bentangan ID *FAN* antara I_R dan I_L sama maka dianggap nilainya adalah 1

$$A_2 = -F_7(x_2 + x_3).x_1\left(1 + \frac{(X_2 + X_3)}{(X_1 + X_2 + X_3)}\right) - m_5 g(x_3)(x_1 + x_2).\left(1 + \frac{X_3}{(X_1 + X_2 + X_3)}\right)$$

$$A_2 = -10950\,(2{,}45 + 3{,}114)(0{,}564)\left(1 + \frac{(2{,}45 + 3{,}114)}{6{,}128}\right) - 2240\,(9{,}8)(3{,}114)\,(0{,}564 + 2{,}45)\left(1 + \frac{3{,}114}{6{,}128}\right)$$

$$A_2 = -34362{,}15\left(1 + \frac{5{,}564}{6{,}128}\right) - 206032{,}6\left(1 + \frac{3{,}114}{6{,}228}\right)$$

= -65561,73 – 310729,9
= -376291,1 Nm

Dari persamaan (1) maka persamaan tersebut menjadi :
2 (6,128) M_1 + (6,128) M_2 = A1 + A2 = - 376291,1 Nm

Jadi :
12,256 M_1 + 6,128 M_2 = - 376.291,1 Nm

Selanjutnya persamaan Kedua adalah antara tumpuan 1, 2 , dan 3
$(x_1 + x_2 + x_3)$ **M_1** + $2(x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5)$**$M_2$** + $(x_4 + x_5)$**M_3** = **A_3** + **A_4**

$(0{,}564 + 2{,}45 + 3{,}114)$**$M_1$**$+2(0{,}564+2{,}45+3{,}114+0{,}836 + 0{,}3)$**$M_2$** $+(0{,}836 + 0{,}3)$**M_3** = **A_3** + **A_4**

(6,128) M_1 + 2 (7,264) M_2+1,136 M_3 = **A_3** + **A_4**…...Persamaan (2)

$A_3 = \sum P_{L12}\, ab\, (1 + \frac{a}{L_{L12}})$

$= -\left[F_7 . X_1 (X + X_3)\left(1 + \frac{x_1}{(X_1+X_2)}\right)\right] - [M_5 . g . X_3\ (X_1 + X_2)(1 + \frac{(X_1+X_2)}{(X_1+X_2+X_3)}]$

$= \left[10{,}950\ (0{,}564)(2{,}445 + 3{,}114)\left(1 + \frac{0{,}564}{(0{,}564+2{,}45+3{,}14)}\right)\right] - [2240\ (9{,}8)(0{,}564 + 2{,}45)(3{,}114)\left(1 + \frac{(0{,}564+2{,}45)}{(0{,}564+2{,}45+3{,}114)}\right)]$

= -35724,72 – 307367,88

= - 344.892,55 Nm

$A4 = -\sum P_{R23}\ a'.b'(1 + \frac{a'}{L_{R23}})$

$= -M_3 . g . X_5 X_4\left(1 + \frac{X_5}{(X_4 + X_5)}\right)$

$= 11000(9{,}8)(0{,}3)(0{,}836)\left(1 + \frac{0{,}3}{(0{,}836 + 0{,}3)}\right)$

= - 34176,09

Jadi persamaan KEDUA adalah

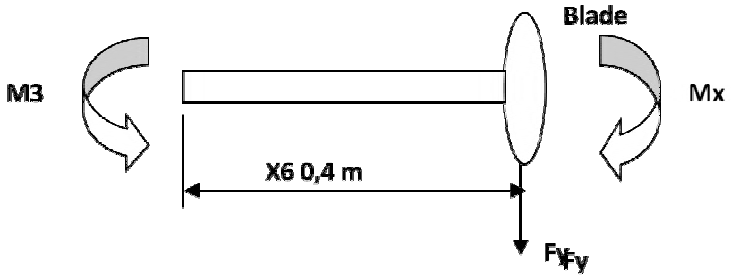
$6{,}128\ M_1 + 14{,}528 M_2 + 1{,}136\ M_3 = -344892{,}55\ \text{Nm} - 34176{,}09\ \text{Nm}$

Jadi hasil akhir persamaan pertama dan kedua adalah

1) $12{,}256\ M_1 + 6{,}128\ M_2 = -376{,}291{,}1$ Nm

2) $6{,}128\ M_1 + 14{,}528 M_2 = -\ 379068{,}4 - 1{,}136\ M_3$

Untuk nilai M_3 adalah momen yang disebabkan oleh berat *blade* dan Efek beban yang disebabkan oleh gaya – gaya yang ditimbulkan akibat rotasi *blade*. Di bawah ini gambaran tentang distribusi gaya dan momen pada potongan antara tumpuan 3 dan *blade*;



Gambar 4.7 Distribusi gaya dan momen potongan pada M_3

Dengan keseimbangan statis maka total momen puntir yang terjadi pada tumpuan 3 adalah ;

$$M_3 = M_x + F_y X_6$$

Dimana besar momen puntir M_3 ditentukan oleh nilai M_x yaitu momen puntir *blade* pada sumbu x dan gaya (beban *blade*) pada kondisi :

1) Kondisi A : *Operating Load Caused by unbalance* (radial) sebesar 17.000 N
2) Kondisi B : *Instantaneous Limit Load caused by unbalance* (radial) sebesar 468.000 N
3) Kondisi C : Kondisi *Balance* (tanpa pengaruh keberadaan point 1 dan 2)

Maka F_y dapat dicari dengan harga

1) Kondisi A : $F_{y1} = F_{10} + F_{\text{blade sumbu y}} = 17.000\ N + F_{\text{blade sumbu y}} = 17.000\ N + F_{y3}$
2) Kondisi B : $F_{y2} = F_{11} + F_{\text{blade sumbu y}} = 468.000\ N + F_{\text{blade sumbu y}} = 468.000\ N + F_{y3}$
3) Kondisi C : $F_{y3} = F_{\text{blade sumbu y}}$

Dimana :

$F_{\text{blade sumbu y}}$ atau F_{y3} adalah gaya yang terjadi ditimbulkan oleh putaran *blade* ID *FAN* pada saat *blade* normal dan *blade* bermasalah (*trouble*).

Karena kondisi operasional *FAN* dengan putaran (rpm) tetap 735 rpm dan hanya merubah *pitch* saja maka untuk analisa tegangan dilakukan pada kondisi rpm tersebut. Tabel total nilai F_{y1} , F_{y2} dan F_{y3} untuk berbagi *pitch* adalah sebagai berikut;

Tabel 4.4 (a) Nilai Fy1 pada beban *unbalance* 17000 N

Putaran 100 % (735 RPM)					
Sudut Blade (Pitch)	F blade sumbu= Fy3 (N)		Gaya Awal	Total F_{y1} (N)	
	NORMAL	TROUBLE		NORMAL	TROUBLE
30	15,3	1.006,9	17	17.015,3	18.006,9
25	18,3	24.600,8	17	17.018,3	41.600,8
20	149,1	2.984,1	17	17.149,1	19.984,1
15	10,4	198,3	17	17.010,4	17.198,3

Tabel 4.4 (b) Nilai Fy2 pada beban unbalance 468.000 N

Putaran 100 % (735 RPM)					
Sudut Blade (Pitch)	F blade sumbu = Fy3 (N)		Gaya Awal	Total F_{y2} (N)	
	NORMAL	TROUBLE		NORMAL	TROUBLE
30	15,3	1.006,9	468	468.015,3	469.006,9
25	18,3	24.600,8	468	468.018,3	492.600,8
20	149,1	2.984,1	468	468.149,1	470.984,1
15	10,4	198,3	468	468.010,4	468.198,3

Pada saat *pitch* 5 derajat dan kondisi trouble, analisa CFD tidak bisa dilakukan karena gap antar *blade* sudah berhimpit, jadi tidak bisa disimulasi dan di analisa tegangan.

Sedangkan untuk besarnya momen puntir yang terjadi pada sumbu x di *blade* (M_x) untuk putaran tetap 735 rpm dan perubahan sudut *pitch* dari hasil simulasi CFD adalah :

Tabel 4.5 Nilai Beban Puntir Mx dari hasil simulasi CFD

Putaran 100 % (735 RPM)		
Sudut Blade (Pitch)	Momen Sumbu X (Mx)	
	NORMAL	TROUBLE
30	161,6	15.389,7
25	396,6	12.893,3
20	1.364,3	3.946,7
15	145,3	13.739,9
5	3.867,9	-

Gabungan Gaya dan Momen yang terbesar yang bersesuaian antara gaya dan momen yang terkait maka nilai M_3 adalah :

$$M_3 = M_x + F_y X_6$$

Dimana $X_6 = 0,4$ meter maka hasilnya M_3 adalah

Tabel 4.6 (a) Nilai momen M_3 pada kondisi A

Sudut Blade (Pitch)	(M_3) Nm	
	NORMAL	TROUBLE
30	6.967,8	22.592,4
25	7.203,9	29.533,6
20	8.224,0	11.940,4
15	6.949,5	20.619,3

(b) Nilai momen M_3 pada kondisi B

Sudut Blade (Pitch)	(M_3) Nm	
	NORMAL	TROUBLE
30	187.367,8	202.992,4
25	187.603,9	209.933,6
20	188.624,0	192.340,4
15	187.349,5	201.019,3

c) Nilai momen M_3 pada kondisi C

Sudut Blade (Pitch)	(M3) Nm	
	NORMAL	TROUBLE
30	167,8	15.792,4
25	403,9	22.733,6
20	1.424,0	5.140,4
15	149,5	13.819,3

Dari M_3 ini maka nilai M_1 dan M_2 dapat dicari hasilnya dan dapat untuk menentukan gaya radial yang terjadi pada tumpuan poros ID *FAN*. Dari persamaan (1) dan (2) maka nilai M_1 dan M_2 adalah :

Tabel 4.7 (a) Nilai momen M_1 dan M_2 pada kondisi A

Sudut Blade (Pitch)	M_2		M_1	
	Normal	Trouble	Normal	Trouble
30	-17.343,9	-18.890,8	-22.030,6	-21.257,2
25	-17.367,3	-19.577,9	-22.019,0	-20.913,6
20	-17.468,3	-17.836,2	-21.968,5	-21.784,5
15	-17.342,1	-18.695,4	-22.031,6	-21.354,9

(b) Nilai momen M_1 dan M_2 pada kondisi B

Sudut Blade (Pitch)	M_2		M_1	
	Normal	Trouble	Normal	Trouble
30	-35.203,5	-36.750,4	-13.100,8	-12.327,4
25	-35.226,9	-37.437,5	-13.089,2	-11.983,8
20	-35.327,9	-35.695,8	-13.038,7	-12.854,7
15	-35.201,7	-36.555,0	-13.101,8	-12.425,1

(c) Nilai momen M_1 dan M_2 pada kondisi C

Sudut Blade (Pitch)	M_2		M_1	
	Normal	Trouble	Normal	Trouble
30	-16.670,7	-18.217,6	-22367,2	-21593,8
25	-16.694,1	-18.904,7	-22355,6	-21250,2
20	-16.795,1	-17.163,0	-22305,1	-22121,1
15	-16.668,9	-18.022,2	-22368,2	-21691,5

Dari data M_1 dan M_2 maka gaya radial yang terjadi pada *bearing* dapat dicari

Untuk mencari gaya radial yang terjadi pada tumpuan 3 (atau *bearing* dekat *blade*) adalah sebagai berikut ;

$$M_2 = F_y(x_4 + x_5 + x_6) + M_x - F_{r3}(x_4 + x_5) + m_3.g.x_4$$

Maka nilai F_{r3} adalah

$$F_{r3} = \frac{F_y(x_4 + x_5 + x_6) + M_x + m_3.g.x_4 - M_2}{(x_4 + x_5)}$$

Dengan memasukan nilai-nilai yang didapat sebelumnya maka F_{r3} besarnya bisa dicari dan hasilnya adalah;

Tabel 4.8 (a) Nilai F_{r3} pada kondisi A

Pitch	Fr_3 (N)	
	Normal	Trouble
30	3,1	7,2
25	3,3	6,4
20	3,2	5,8
15	3,7	3,5

(b) Nilai F_{r3} pada kondisi B

Pitch	Fr_3 (N)	
	Normal	Trouble
30	681.294,4	694.678,5
25	681.484,7	723.777,7
20	682.424,6	688.207,1
15	681.275,0	692.304,8

(c) Nilai F_{r3} pada kondisi C

Pitch	Fr_3 (N)	
	Normal	Trouble
30	64.819,8	78.203,9
25	65.010,0	107.303,0
20	65.949,9	71.732,5
15	64.800,4	75.830,2

Selanjutnya mencari nilai gaya reaksi atau gaya radial pada tumpuan 2 adalah persamaan keseimbangan momen pada tumpuan

$M_1 = F_y\ (X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6) + Mx - F_{r3}\ (X_1+X_2+X_3+X_4+X_5) + m_3 \cdot g\ (X_1+X_2+X_3+X_4) - Fr_2\ (X_1+X_2+X_3) + m_3 \cdot g\ (X_1 + X_2) + (F_7.X_1)$

$$F_{r2} = \frac{-M1+Fy\ (X1+X2+X3+X4+X5+X6)+ Mx-Fr3\ (X1+X2+X3+X4+X5)}{(X1+X2+X3)} + \frac{m3.g.(X1+X2+X3+X4)+ M5.g.(X1+X2)+F7.X1}{X1+X2+X3}$$

Maka nilai F_{r2} adalah :

Tabel 4.9 (a) Nilai Gaya F_{r2} pada kondisi A

Pitch	Fr2 (N)	
	Normal	Trouble
30	55.886,2	43.618,1
25	55.700,7	38.168,0
20	54.899,8	51.981,8
15	55.900,5	45.167,4

(b) Nilai Gaya F_{r2} pada kondisi B

Pitch	Fr2 (N)	
	Normal	Trouble
30	-85.759,1	-98.027,1
25	-85.944,5	-103.477,2
20	-86.745,4	-89.663,4
15	-85.744,7	-96.477,8

(c) Nilai Gaya F_{r2} pada kondisi C

Pitch	Fr2 (N)	
	Normal	Trouble
30	61.225,3	48.957,2
25	61.039,9	43.507,2
20	60.239,0	57.321,0
15	61.239,7	50.506,5

4.6 Analisa umur pakai bantalan (*life time bearing*)

Setelah mendapatkan hasil besarnya gaya yang terjadi pada tumpukan 2 dan 3, maka perhitungan selanjutnya adalah menganalisa umur pakai bantalan (*bearing*) yang dipasang pada di kedua tumpuan tersebut akibat pengaruh kondisi normal dan kondisi bermasalah (sudut *blade* sudut *pitch* tidak *uniform*)

Untuk menganalisa umur bantalan data yang dibutuhkan adalah data gaya yang bekerja pada bantalan yaitu gaya radial dan gaya aksial serta data *Basic Dynamic Load Rating* Cr dan *Basic Static Load Rating* Cor.

Dari data bantalan (bearing) yang ada maka nilai Cr = 1.720.000 N dan Cor = 2.280.000 N dan gaya radial yang bekerja pada tumpuan 2 dan 3 dapat dilihat di tabel 4.8 (a) dan (b) serta tabel 4.9 (a) dan (b). sedangkan gaya aksial yang terjadi adalah

Fa = Fawal + F*blade*

Dimana $F_{awal} = F_{15}$ = 48.657 N dapat dilihat di gambar 4.4 dan tabel 4.3 , sedangkan F_{blade} didapat dari simulasi CFD pada kondisi normal dan *trouble*. Jadi nilai total Fa pada putaran 735 rpm dan variasi pitch hasilnya seperti tabel dibawah ini :

Tabel 4.10 Nilai Total F *axial*

Sudut Blade (Pitch)	F awal (N)	F Blade (N)		Total Fa (N)	
		Normal	Trouble	Normal	Trouble
30	48.657	29.031,3	70.448,6	77.688,3	119.105,6
25	48.657	25.769,8	24.600,8	74.426,8	73.257,8
20	48.657	31.221,8	26.500,9	79.878,8	75.157,9
15	48.657	27.821,9	15.229,5	76.478,9	63.886,5

Selanjutnya menghitung rasio gaya aksial (Fa) terhadap *basic static load rating* (Cor) dimana hasilnya untuk mendapatkan nilai e seperti tabel 4.11 di bawah ini :

Tabel 4.11 Nilai Xr dan Ya

Factors V, X, and Y for Radial Bearings

Bearing Type			In Relation to the Load the Inner Ring is		Single Row Bearings 1)		Double Row Bearings 2)				e
			Rotating	Stationary	$\frac{F_a}{VF_r} > e$		$\frac{F_a}{VF_r} \leq e$		$\frac{F_a}{VF_r} > e$		
			V	V	X	Y	X	Y	X	Y	
3) Radial Contact Groove Ball Bearings	4) $\frac{F_a}{C_0}$	5) $\frac{F_a}{i Z D_w^2}$									
	0.014	25				2.30				2.30	0.19
	0.028	50				1.99				1.99	0.22
	0.056	100				1.71				1.71	0.26
	0.084	150				1.55				1.55	0.28
	0.11	200	1	1.2	0.56	1.45	1	0	0.56	1.45	0.30
	0.17	300				1.31				1.31	0.34
	0.28	500				1.15				1.15	0.38
	0.42	750				1.04				1.04	0.42
	0.56	1000				1.00				1.00	0.44
20°					0.43	1.00		1.09	0.70	1.63	0.57
25°					0.41	0.87		0.92	0.67	1.44	0.68
30°			1	1.2	0.39	0.76	1	0.78	0.63	1.24	0.80
35°					0.37	0.66		0.66	0.60	1.07	0.95
40°					0.35	0.57		0.55	0.57	0.93	1.14
Self-Aligning Ball Bearings			1	1	0.40	0.4 cot α	1	0.42 cot α	0.65	0.65 cot α	1.5 tan α
Self-Aligning and Tapered Roller Bearings			1	1.2	0.40	0.4 cot α	1	0.45 cot α	0.67	0.67 cot α	1.5 tan α

Hasil dari rasio Fa/Cor dapat dilihat tabel 4.12 dan nilai e dengan interpolasi pada tabel 4.11 hasilnya sebagai berikut :

Tabel 4.12 Nilai Fa/Cor untuk mendapatkan nilai e

Sudut Blade (Pitch)	Fa/Cor		Fa/Cor	
	Normal	E	Trouble	e
30	0,0341	0,22868	0,052	0,25
25	0,0326	0,22663	0,032	0,23
20	0,0350	0,23005	0,033	0,23
15	0,0335	0,22792	0,028	0,22

Langkah selanjutnya adalah mencari nilai perbandingan gaya aksial terhadap gaya radial Fa/(V.Fr), karena V = 1 dimana lubang dalam

bergerak maka persamaan menjadi Fa/Fr. Hasil Fa/Fr untuk kondisi normal dan *trouble* pada kondisi A, B dan C adalah;

Tabel 4.13 Nilai rasio gaya aksial terhadap gaya radial kondisi A, B, C

Sudut Blade (Pitch)	Fa/Fr pada Kondisi A		Fa/Fr pada Kondisi B		Fa/Fr pada Kondisi C	
	Normal	Trouble	Normal	Trouble	Normal	Trouble
30	0,89	1,18	0,11	0,17	1,20	1,52
25	0,85	0,56	0,11	0,10	1,14	0,68
20	0,90	0,80	0,12	0,11	1,21	1,05
15	0,88	0,65	0,11	0,09	1,18	0,84

Untuk mendapatkan besar nilai ekuivalen maka persamaannya adalah :
$P = X_r.V.F_{r+} Y_a. F_a$
Dengan membandikan nilai e dari tabel 4.12 dengan nilai Fa/Fr dari tabel 4.13 maka akan didapat nilai X_r dan Y_a. Dimana pada kondisi A dan C nilai Fa/Fr > e dan pada kondisi B nilai Fa/Fr < e untuk semua kondisi *pitch* yang berbeda. Untuk mendapatkan nilai X_r dan Y_a pada kondisi B dengan tabel 4.11 maka nilai $X_r = 1$ dan $Y_a = 0$, artinya gaya radial lebih mendominasi beban *bearing*.

Sedangkan untuk kondisi A dan C maka nilai X_r dan Y_a dari tabel 4.11 adalah sebagai berikut :

Tabel 4.14 Nilai Xr dan Ya

Sudut Blade (Pitch)	Fa/Cor		Xr	Ya	Fa/Cor		Xr	Ya
	Normal	e-11			Trouble	e-12		
30	0,0341	0,22868	0,56	192,926	0,052	0,25	0,56	1,747,607
25	0,0326	0,22663		194,357	0,032	0,23		1,948,694
20	0,0350	0,23005		191,965	0,033	0,23		194,036
15	0,0335	0,22792		193,457	0,028	0,22		1,989,796

Selanjutnya dicari nilai P (beban ekuivalen) pada tiga kondisi A, B dan C:

Tabel 4.15 Nilai P Beban Ekuivalen dengan Kondisi A, B dan C

Sudut Blade (Pitch)	Beban Ekuivalen (P) pada Kondisi A (N)		Beban Ekuivalen (P) pada Kondisi B (N)		Beban Ekuivalen (P) pada Kondisi C (N)	
	Normal	Trouble	Normal	Trouble	Normal	Trouble
30	198.720,4	286.120,3	681.294,4	694.678,5	186.180,2	273.580,0
25	193.599,4	215.011,5	681.484,7	723.777,7	181.059,1	202.471,2
20	202.811,9	196.987,6	682.424,6	688.207,1	190.271,6	184.447,3
15	196.781,9	178.597,9	681.275,0	692.304,8	184.241,7	166.057,7

Setelah di dapat beban ekuivalen, maka langkah selanjutnya mencari umur bantalan dengan rumus sebagai berikut :

$L = \left(\frac{Cr}{P}\right)^3$ dalam jutaan putaran

Maka besar umur bantalan pada tumpuan 3 (*bearing dekat Blade*) yaitu ;

Tabel 4.16 Umur Bantalan (*bearing*) di tumpuan 3 pada Kondisi A, B dan C

Sudut Blade (Pitch)	$L = \left(\frac{Cr}{P}\right)^3$ dalam hari (Kondisi A)		$L = \left(\frac{Cr}{P}\right)^3$ dalam hari (Kondisi B)		$L = \left(\frac{Cr}{P}\right)^3$ dalam hari (Kondisi C)	
	Normal	Trouble	Normal	Trouble	Normal	Trouble
30	612,6	259,9	15,2	14,3	745,0	300,6
25	662,6	481,1	15,2	12,7	810,0	576,0
20	576,3	614,3	15,1	14,7	697,9	747,1
15	630,9	795,8	15,2	14,5	768,7	985,7

Untuk mengetahui umur *bearing* pada tumpuan 2 maka data gaya radial dan aksial untuk beban ekuivalen dapat dicari di tabel 4.9. Dengan cara yang sama untuk mencari umur bantalan di tumpuan 3, maka umur bantalan (*bearing*) di tumpuan 2 dapat di lihat di tabel 4.17.

Tabel 4.17 Umur Bantalan (bearing) di tumpuan 2 pada Kondisi A, B dan C

Sudut Blade (Pitch)	$L = \left(\frac{Cr}{p}\right)^3$ dalam hari (Kondisi A)		$L = \left(\frac{Cr}{p}\right)^3$ dalam hari (Kondisi B)		$L = \left(\frac{Cr}{p}\right)^3$ dalam hari (Kondisi C)	
	Normal	Trouble	Normal	Trouble	Normal	Trouble
30	2.883,0	775,2	620,2	264,1	3.112,6	814,4
25	3.291,5	2.688,2	671,0	594,7	3.566,1	2.897,1
20	2.609,2	3.023,2	584,0	638,1	2.809,8	3.267,9
15	3.028,9	4.553,5	638,8	808,8	3.274,3	4.979,3

4.7 Hasil Analisa

Dari hasil yang di jabarkan pada point 4.3 dan 4.4 menunjukan bahwa secara garis besar adanya perbedaan *pitch* pada *blade* menyebabkan kenaikan beban (gaya) dan momen puntir pada sumbu x dan y di *blade*, sehingga menyebabkan putaran *blade* menjadi tidak seimbang (*Unbalance*). Hal ini akan mempengaruhi beban kerja *bearing* pada ID *FAN* dimana gaya yang berubah drastis tersebut akan mempercepat kerusakan atau mempercepat *life time* dari *bearing* yang bekerja.

Hasil akhir perhitungan umur *bearing* di tumpuan 3 pada kondisi A dan C serta putaran normal pada tabel 4.16 menunjukan umur *bearing* masih di kisaran antara 2 tahun berjalan. Dan putaran *trouble* (*pitch blade* tidak *uniform*) menunjukan penurunan umur bantalan, terutama pada bukaan sudut *pitch* 30 dimana umur *bearing* sekitar 259,9 hari dan 300,6 hari atau sekitar 8-10 bulan. Artinya umur *bearing* akan berkurang maksimal 50 persen dari UMUR DESAIN *bearing*. Dari perhitungan diatas menunjukan UMUR DESAIN *bearing* harus dirubah dengan mencari *bearing* dengan Cr dan Cor diatas 2.400.000 N agar umur *bearing* mampu bertahan hingga 5 tahun atau diatas 3.000.000 N untuk bertahan hingga 10 tahun.

Untuk kondisi beban *limit* (ektrem) karena pengaruh *unbalance blade* yaitu kondisi B menunjukan umur *bearing* tinggal 14-15 hari. Dari sini kondisi kritis karena *unbalance* akibat sudut *blade* yang tidak *uniform* antara 14 – 259 hari untuk bukaan *pitch* 30. Sedangkan pada bukaan sudut (*pitch*) antara 15 dan 20 pada putaran *trouble* umur lebih lama hal ini disebabkan nilai torsi menurun, tapi tidak begitu signifikan dengan umur desain *bearing*.

Pada tumpuan 2 (lihat tabel 4.17) dimana umur *bearing* pada putaran normal dan pada kondisi A dan C masih di kisaran 7-10 tahun

(2.609 – 3.566 hari), sedangkan pada putaran *trouble* umur *bearing* dikisaran 2 tahun (775,2-814,4 hari). Sedangkan pada kondisi ekstrem (limit) dan putaran normal pada kondisi B umur bantalan (*bearing*) sekitar 21 bulan dan pada putaran *trouble* sekitar 8-9 bulan.

Untuk mencapai pada kondisi B, ID *FAN* sudah menunjukan getaran dan kinerja ID *FAN* sudah tidak normal, artinya sebelum mencapai kondisi tersebut sebaiknya operator harus menghentikan operasi ID *FAN*.

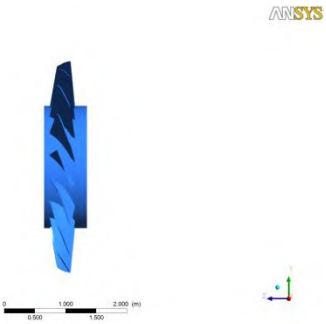
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

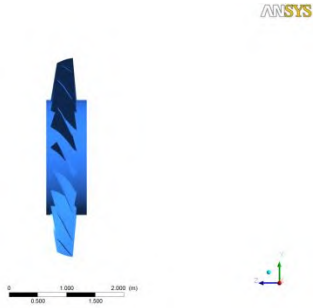
Pitch 0°

Pitch 15°

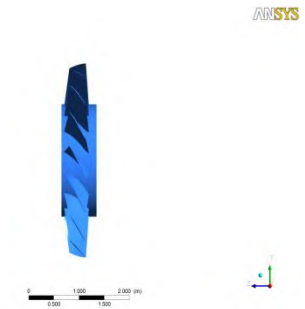
Pitch 20°

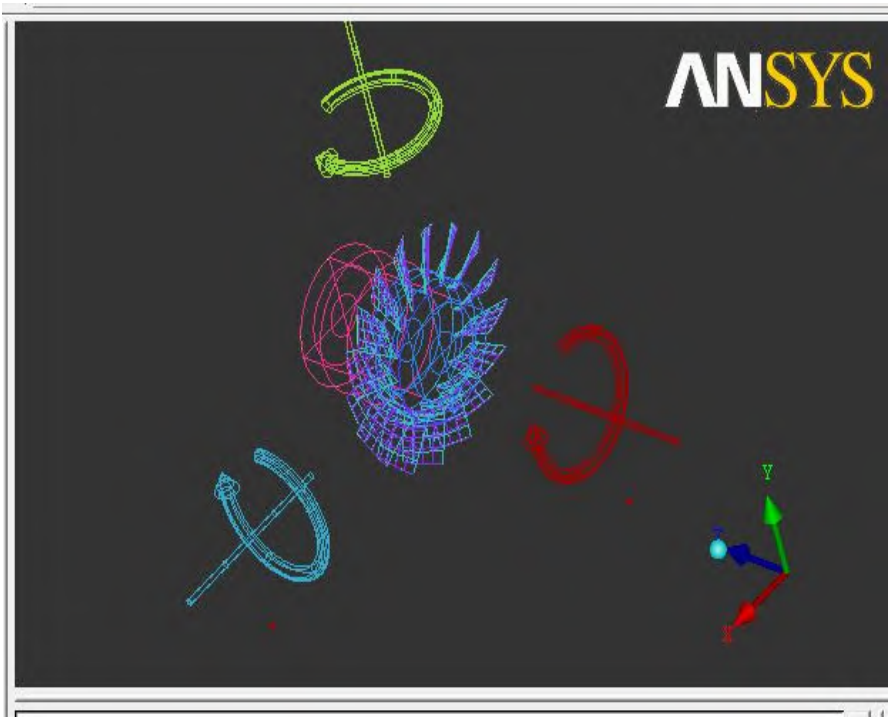


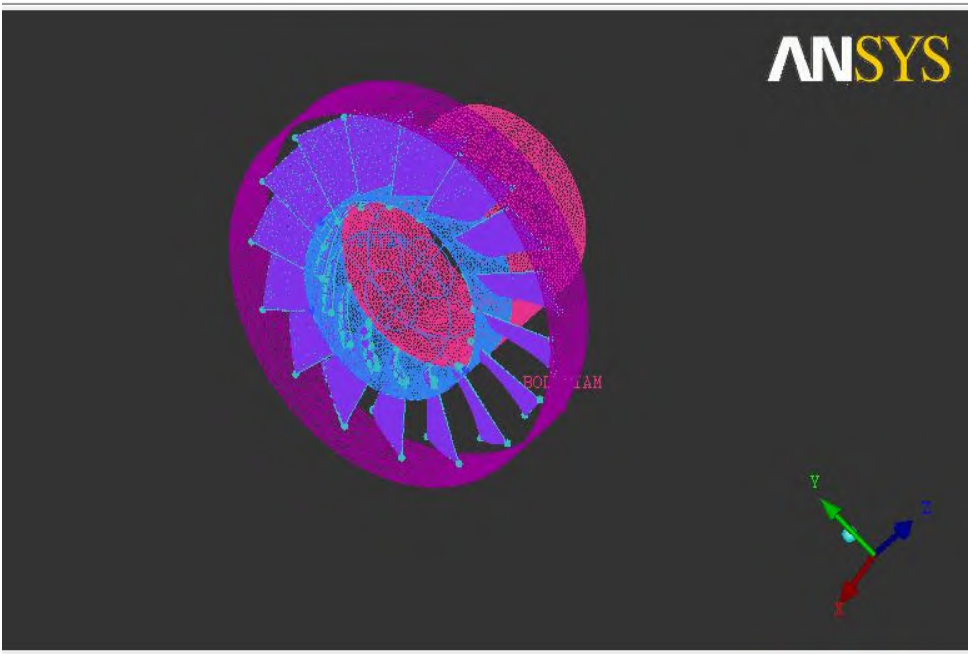
Pitch 25°

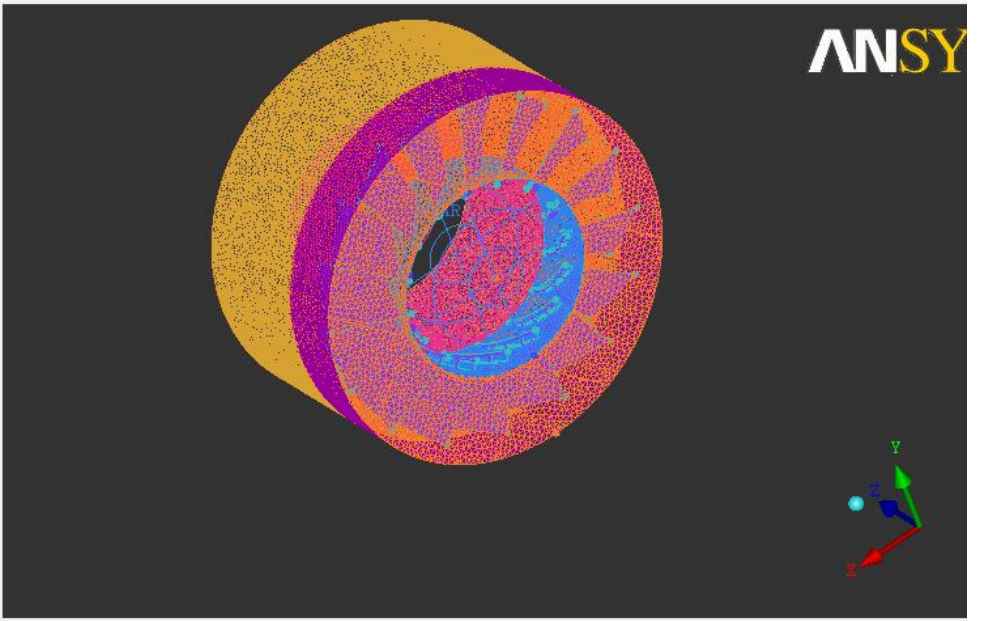


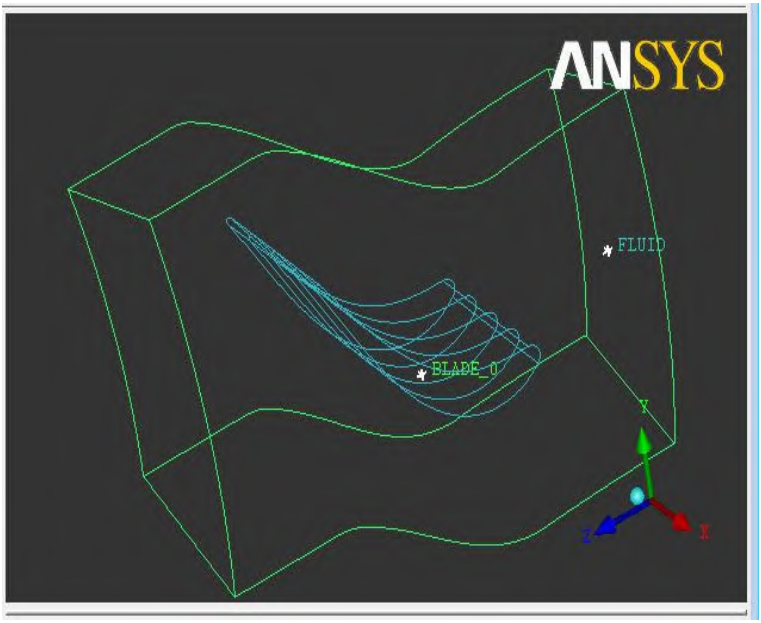
Pitch 30°

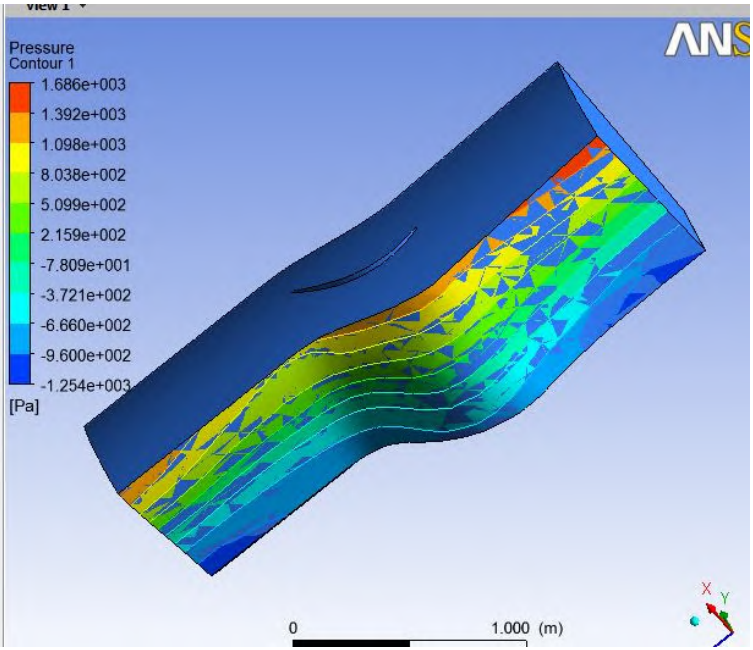


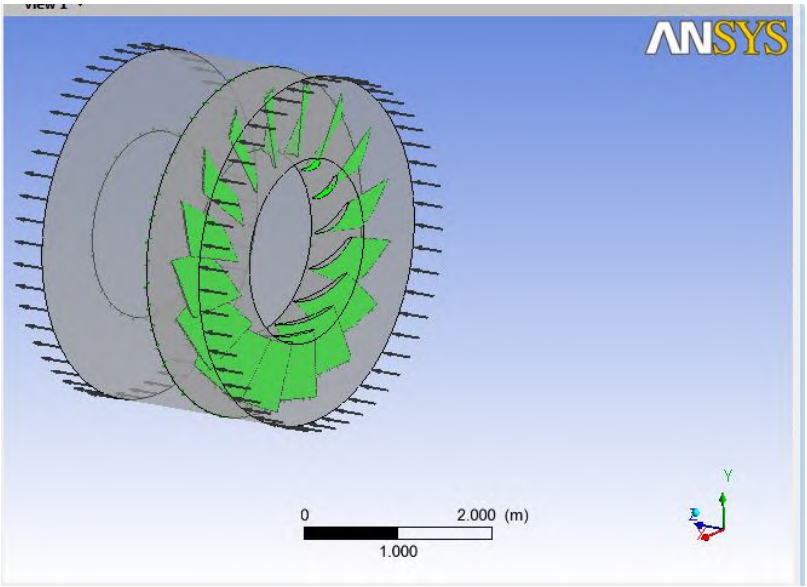

ANSYS
Y
Z
X


ANSYS
Y
Z


ANSY
Y
Z
X


ANSYS
FLUID
BLADE_0
Y
Z
X


Pressure
Contour 1
1.686e+003
1.392e+003
1.098e+003
8.038e+002
5.099e+002
2.159e+002
-7.809e+001
-3.721e+002
-6.660e+002
-9.600e+002
-1.254e+003
[Pa]
0
1.000 (m)
X
Y


ANSYS
0
2.000 (m)
1.000
Y

HASIL PENGAMBILAN DATA HUB DARI CFD

NORMAL CONDITION						
BLADE CONDITION	FORCE (N)			TORQUE (Nm)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
OPEN	3.46225	316.129	79.0877	-1951.97	-31.7256	82.0762
MIDLE	9.66363	236.697	80.0097	-1472.26	-163.774	89.489
CLOSED	3580.26	733.246	19.676	-4673.59	22357	89.5413

3 BLADE TROUBLE CONDITION						
BLADE CONDITION	FORCE (N)			TORQUE (Nm)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
OPEN	411.844	1508.04	84.7923	-9477.96	2348.57	91.6075
MIDLE	737.807	1471.58	83.9558	-9281.01	4460.66	87.6082
CLOSED						

735 rpm

NORMAL CONDITION						
BLADE CONDITION	FORCE (N)			TORQUE (Nm)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
30	-3.46225	316.129	79.0877	-1951.97	-31.7256	82.0762
25	-24.5165	236.697	80.0097	-1472.26	-163.774	89.489
20	-248.836	34.7633	60.0595	-214.039	-1547.45	82.4917
15	-40.3261	-35.4305	67.0972	222.957	-252.798	91.4455
0	3580.26	733.246	19.676	-4673.59	22357	89.5413

3 BLADE TROUBLE CONDITION						
BLADE CONDITION	FORCE (N)			TORQUE (Nm)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
30	411.844	1508.04	84.7923	-9477.96	2348.57	91.6075
25	737.807	1471.58	83.9558	-9281.01	4460.66	87.6082
20	-285.643	1682.62	55.764	-10588.9	-1825.64	80.6778
15	-0.23268	3323.2	43.009	-20799.6	-10.4682	109.093
0						

HASIL PENGAMBILAN DATA HUB DARI CFD

588

NORMAL CONDITION						
BLADE CONDITION	FORCE (N)			TORQUE (Nm)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
30	-40.6277	153.753	51.3028	-952.361	-257.27	52.9396
25	-26.091	50.9989	49.2658	-316.81	-167.063	55.6146
20	-58.9524	-0.31734	43.6219	0.521887	-366.237	58.2794
15	-13.5424	-26.5296	47.9237	167.766	-84.9202	66.0717
0	3811.86	302	246	-1955.93	23846.1	70.1041

3 BLADE TROUBLE CONDITION						
BLADE CONDITION	FORCE (N)			TORQUE (Nm)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
30	22.0546	881.654	54.9633	-5515.15	62.5576	56.0034
25	-83.7475	858.488	53.858	-5382.03	-561.13	55.9474
20	197.201	1529.55	41.5594	-9612.81	1195.47	58.5235
15	10.0578	3276.31	31.1957	-20511.4	46.8114	77.2448
0						

441

NORMAL CONDITION						
BLADE CONDITION	FORCE (N)			TORQUE (Nm)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
30	-42.3955	52.8242	31.469	-327.611	-266.456	32.2925
25	-14.9371	11.0858	33.3307	-67.7669	-94.6355	36.9424
20	-1.77352	12.0193	31.2908	-76.4389	-10.2188	40.3555
15	-6.38759	-26.6559	32.5071	168.738	-40.1737	45.8481
0	3086.31	-249.685	27.489	1539.82	19.302.7	52.5819

3 BLADE TROUBLE CONDITION						
BLADE CONDITION	FORCE (N)			TORQUE (Nm)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
30	19.3078	586.96	34.6128	-3662.57	95.4736	35.7225
25	25.8917	810.724	34.8654	-5080.57	138.957	37.7969
20	157.155	1348.98	29.1965	-8478.27	956.86	39.781
15	-156.066	3290.67	21.6036	-20620.4	-997.814	52.8727
0						

HASIL PENGAMBILAN DATA HUB DARI CFD

294

NORMAL CONDITION						
BLADE CONDITION	FORCE (N)			TORQUE (Nm)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
30	-13.1937	13.5152	22.0186	-83.7563	-83.3119	21.5915
25	-10.2211	-2.20108	22.2904	14.4731	-64.3009	23.7851
20	7.76142	11.1597	20.4356	-70.4693	49.3591	25.1711
15	-44.8949	-56.3712	20.5605	356.05	-280.521	30.2102
0	5229.6	-2579.4	17.2759	16205.7	32847.4	45.0981

3 BLADE TROUBLE CONDITION						
BLADE CONDITION	FORCE (N)			TORQUE (Nm)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
30	41.6396	518.624	20.458	-3240.92	243.917	22.7555
25	29.808	763.894	21.0751	-4789.34	169.884	24.6195
20	-0.69886	1541.21	20.4545	-9689.33	-26.9054	26.7503
15	-196.509	3351.98	14.7843	-21036	-1254.78	35.6265
0						

147

NORMAL CONDITION						
BLADE CONDITION	FORCE (N)			TORQUE (Nm)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
30	-22.4776	11.1724	10.2476	-72.2394	-140.406	10.8104
25	52.3193	-66.0703	11.3443	413.725	324.387	13.0623
20	60.9522	10.5344	11.4617	-65.2942	381.583	15.5362
15	-253.406	-161.053	10.6078	1015.99	-1586.77	20.8658
0	6342.04	-1134.91	11.2064	7127.24	39887.4	33.5127

3 BLADE TROUBLE CONDITION						
BLADE CONDITION	FORCE (N)			TORQUE (Nm)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
30	24.2498	364.301	9.01927	-2281.9	142.644	12.699
25	-100.582	519.784	9.62044	-3267.62	-636.405	14.7321
20	-285.29	1708.51	12.5295	-10750.6	-1804.47	17.8539
15	-465.515	42.4914	14.2408	-290.666	-2917.64	24.1884
0						

HASIL PENGAMBILAN DATA BLADE PADA CFD

	NORMAL CONDITION							
	BLADE CONDITION		FORCE (N)			TORQUE (Nm)		
			X	Y	Z	X	Y	Z
735	30	FACE	383.8	-96.2	-4195.0	1186.7	2069.7	8178.0
		BACK	-395.9	111.5	-24836.3	-1025.1	-2278.6	24427.2
		TOTAL	-12.2	15.3	-29031.3	161.6	-208.9	32605.2
	25	FACE	365.2	-72.4	-349.2	1131.0	1949.6	3211.0
		BACK	-216.1	90.7	-25420.6	-734.4	-1072.7	23661.3
		TOTAL	149.1	18.3	-25769.8	396.6	877.0	26872.3
	20	FACE	51.9	531.1	-13761.2	-2931.5	1601.1	12741.8
		BACK	-122.5	-311.5	-17460.6	1567.2	-1185.7	13450.5
		TOTAL	-70.6	219.6	-31221.8	-1364.3	415.4	26192.3
	15	FACE	-37.4	54.4	-10762.4	-418.9	-60.5	7963.8
		BACK	23.1	-44.0	-17059.5	273.6	64.9	12458.8
		TOTAL	-14.3	10.4	-27821.9	-145.3	4.5	20422.6
	0	FACE	394.0	2958.8	-24439.4	-11570.0	21786.0	8298.4
		BACK	-1082.5	-2893.9	103395.0	15437.9	-33643.1	-4276.6
		TOTAL	-688.5	64.9	78955.6	3867.9	-11857.1	4021.7

	3 BLADE TROUBLE CONDITION							
	BLADE CONDITION		FORCE (N)			TORQUE (Nm)		
			X	Y	Z	X	Y	Z
735	30.0	FACE	3975.4	276.2	-62888.8	28856.7	6828.6	8341.1
		BACK	-1099.6	730.7	-7559.8	-13467.1	5485.8	23985.3
		TOTAL	2875.9	1006.9	-70448.6	15389.7	12314.5	32326.3
	25.0	FACE	3004.9	-3381.2	409.3	27351.2	10177.7	4281.5
		BACK	-20.8	2642.5	-25010.1	-14457.9	3574.9	22984.3
		TOTAL	2984.1	-738.7	-24600.8	12893.3	13752.5	27265.7
	20.0	FACE	3033.9	340.4	-8432.6	6159.2	18326.6	9534.3
		BACK	-1272.4	255.3	-18068.3	-2212.5	-8353.0	14726.8
		TOTAL	1761.4	595.7	-26500.9	3946.7	9973.6	24261.1
	15.0	FACE	342.2	-1672.0	-7174.6	8601.6	-2030.7	4338.4
		BACK	1395.8	1473.7	-8055.0	5138.3	11633.9	12766.9
		TOTAL	1738.0	-198.3	-15229.5	13739.9	9603.2	17105.3
	0.0	FACE						
		BACK						
		TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

HASIL PENGAMBILAN DATA BLADE PADA CFD

	NORMAL CONDITION							
	BLADE CONDITION		FORCE (N)			TORQUE (Nm)		
			X	Y	Z	X	Y	Z
588	30	FACE	188.9	8.1	-7,758.9	232.5	1,105.2	10,841.2
		BACK	-149.7	-0.1	-13,555.0	-77.0	-904.6	13,043.9
		TOTAL	39.2	8.0	-21,313.9	155.5	200.6	23,885.1
	25	FACE	74.8	-4.6	-14,267.3	174.0	400.9	14,764.1
		BACK	-42.1	9.0	-10,306.4	-82.1	-225.8	8,261.4
		TOTAL	32.7	4.4	-24,573.7	91.9	175.1	23,025.5
	20	FACE	-33.1	100.4	-10,169.3	-675.0	41.2	8,942.8
		BACK	3.5	-73.5	-10,339.4	434.1	-73.5	8,203.8
		TOTAL	-29.7	26.9	-20,508.7	-240.8	-32.2	17,146.7
	15	FACE	-26.4	13.3	-511.7	-153.0	-117.6	1,176.8
		BACK	16.9	-16.8	-12,135.6	123.7	74.5	9,816.6
		TOTAL	-9.5	-3.5	-12,647.3	-29.3	-43.1	10,993.4
	0	FACE	351,721.0	2,213.4	-7,562.6	-8,343.3	16,848.5	3,343.1
		BACK	-897.7	-2,222.6	85,067.5	10,779.7	-29,503.8	-2,315.1
		TOTAL	350,823.3	-9.3	77,504.9	2,436.4	-12,655.3	1,028.0

	3 BLADE TROUBLE CONDITION							
	BLADE CONDITION		FORCE (N)			TORQUE (Nm)		
			X	Y	Z	X	Y	Z
588	30.0	FACE	1879.2	-1052.5	-8485.1	9603.5	8617.4	12131.2
		BACK	-24.4	867.9	-12721.4	-4352.9	617.7	11891.3
		TOTAL	1854.8	-184.6	-21206.5	5250.7	9235.1	24022.5
	25.0	FACE	1961.7	-97.9	-11025.2	4478.8	11020.7	12033.7
		BACK	-617.6	298.6	-10574.5	-1803.9	-3907.2	9051.0
		TOTAL	1344.1	200.7	-21599.7	2675.0	7113.6	21084.7
	20.0	FACE	2901.9	-317.9	-2348.6	10943.5	16405.9	4367.4
		BACK	-1280.7	648.9	-12036.4	-5354.6	-7401.8	10337.0
		TOTAL	1621.3	331.0	-14385.0	5588.9	9004.1	14704.4
	15.0	FACE	625494.0	-1249.4	2.6	8053.3	871.3	46.2
		BACK	736.2	1258.7	-3607.8	3770.7	7363.0	9048.4
		TOTAL	626230.2	9.3	-3605.1	11824.0	8234.4	9094.6
	0.0	FACE						
		BACK						
		TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

HASIL PENGAMBILAN DATA BLADE PADA CFD

	NORMAL CONDITION							
	BLADE CONDITION		FORCE (N)			TORQUE (Nm)		
			X	Y	Z	X	Y	Z
441	30.0	FACE	54.1	46.8	-9175.2	-200.5	384.2	11149.0
		BACK	-52.8	-28.7	-5649.8	141.2	-344.8	5104.6
		TOTAL	1.3	18.1	-14825.0	-59.3	39.4	16253.6
	25.0	FACE	17.9	19.5	-6677.8	-76.4	138.6	6972.2
		BACK	23.6	-101345.0	5134.5	23.6	-101.3	5134.5
		TOTAL	41.5	-101325.5	-1543.3	-52.8	37.3	12106.7
	20.0	FACE	11.7	5.0	-395.4	-7.2	84.2	951.3
		BACK	-2.6	-9.0	-6878.7	52.7	-27.5	6493.6
		TOTAL	9.1	-3.9	-7274.1	45.6	56.8	7444.9
	15.0	FACE	-29.4	4.1	11397.7	-102.6	-165.0	-6540.4
		BACK	17.1	-71.2	-10067.4	67.9	91.2	9180.0
		TOTAL	-12.2	-67.1	1330.3	-34.7	-73.8	2639.5
	0.0	FACE	-36.9	1892.6	6309.0	-9759.7	12963.9	-508.2
		BACK	-416.6	-1999.8	68268.1	10635.1	-23492.6	-1030.3
		TOTAL	-453.5	-107.2	74577.1	875.4	-10528.7	-1538.5

	3 BLADE TROUBLE CONDITION							
	BLADE CONDITION		FORCE (N)			TORQUE (Nm)		
			X	Y	Z	X	Y	Z
441	30.0	FACE	1632.2	16.9	-7143.3	2813.2	9581.9	9126.7
		BACK	-477.2	279.6	-5910.6	-1921.5	-2789.0	5650.7
		TOTAL	1155.0	296.5	-13053.9	891.7	6793.0	14777.4
	25.0	FACE	1791.0	-81.0	-2174.0	4971.6	10438.1	3569.4
		BACK	-733.6	345.0	-6702.9	-2863.6	-4307.9	6613.6
		TOTAL	1057.4	264.0	-8877.0	2108.0	6130.2	10182.9
	20.0	FACE	2168.0	-104.9	6297.9	8648.8	12856.0	-2410.9
		BACK	-1108.3	441.0	-8562.4	-4331.4	-6504.5	8199.8
		TOTAL	1059.7	336.1	-2264.5	4317.4	6351.5	5788.9
	15.0	FACE	555.1	-666.4	9255.0	5307.7	2149.1	-5327.3
		BACK	381.3	918.1	-1419.6	4274.9	4690.0	7382.2
		TOTAL	936.4	251.6	7835.4	9582.6	6839.1	2054.9
	0.0	FACE						
		BACK						
		TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

HASIL PENGAMBILAN DATA BLADE PADA CFD

	NORMAL CONDITION							
	BLADE CONDITION		FORCE (N)			TORQUE (Nm)		
			X	Y	Z	X	Y	Z
294	30.0	FACE	12.3	14.0	-135.9	-66.4	93.7	607.2
		BACK	-15.3	-7.9	-3423.8	35.4	-101.2	4369.6
		TOTAL	-3.0	6.1	-3559.7	-31.0	-7.5	4976.9
	25.0	FACE	-2.8	10.9	4362.8	-68.0	-0.5	-3690.6
		BACK	-2.0	-7.0	-4493.8	39.6	-19.6	5495.1
		TOTAL	-4.8	3.9	-131.0	-28.5	-20.1	1804.5
	20.0	FACE	6.1	0.9	10920.8	-4.4	53.9	-8034.3
		BACK	1.5	-1.7	-6178.5	16.5	6.0	6827.8
		TOTAL	7.7	-0.8	4742.3	12.1	60.0	-1206.5
	15.0	FACE	-86.5	73.3	22306.2	-667.8	-288.6	-13441.9
		BACK	37.2	-45.5	-9322.3	338.3	152.9	9123.4
		TOTAL	-49.3	27.8	12983.9	-329.5	-135.8	-4318.5
	0.0	FACE	-789.3	1259.9	18723.7	-12190.1	6072.0	-3457.2
		BACK	215.7	-1813.8	55796.3	8280.1	-22191.4	-488.7
		TOTAL	-573.6	-553.9	74520.0	-3910.0	-16119.4	-3945.9

	3 BLADE TROUBLE CONDITION							
	BLADE CONDITION		FORCE (N)			TORQUE (Nm)		
			X	Y	Z	X	Y	Z
294	30.0	FACE	1257.7	78.5	2042.9	2550.5	7693.6	-983.1
		BACK	-522.0	199.2	-3846.6	-522.0	199.2	-3846.6
		TOTAL	735.7	277.7	-1803.7	2028.5	7892.8	-4829.7
	25.0	FACE	1412.3	95.7	7299.2	3982.1	8785.2	-5091.5
		BACK	-717.3	224.0	-5145.5	-2411.5	-4291.5	6099.0
		TOTAL	695.0	319.7	2153.7	1570.5	4493.7	1007.5
	20.0	FACE	1855.8	236.9	16651.5	6856.0	12130.0	-10019.1
		BACK	-1113.4	240.8	-7556.4	-3413.2	-6750.0	7954.0
		TOTAL	742.4	477.7	9095.1	3442.8	5380.0	-2065.1
	15.0	FACE	496.3	-366.0	19103.8	3983.7	2516.2	-11117.4
		BACK	175.4	719.0	-1049.3	4443.9	3037.9	7135.1
		TOTAL	671.7	353.0	18054.5	8427.6	5554.1	-3982.4
	0.0	FACE						
		BACK						
		TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

HASIL PENGAMBILAN DATA BLADE PADA CFD

	NORMAL CONDITION							
	BLADE CONDITION		FORCE (N)			TORQUE (Nm)		
			X	Y	Z	X	Y	Z
147	30.0	FACE	-45.4	20.6	6661.9	-214.0	-204.8	-7320.9
		BACK	19.8	-27.6	-2450.4	220.5	79.2	4008.5
		TOTAL	-25.6	-7.0	4211.5	6.5	-125.6	-3312.5
	25.0	FACE	-63.7	156.9	11171.6	832.4	-704.4	-10287.5
		BACK	72.4	60.2	-3762.9	-250.6	524.2	5264.7
		TOTAL	8.7	217.1	7408.7	581.8	-180.2	-5022.8
	20.0	FACE	60.2	-59.7	17852.5	509.6	259.1	-13434.8
		BACK	5.6	40.4	-5517.6	-164.8	92.1	6660.5
		TOTAL	65.9	-19.3	12334.9	344.8	351.2	-6774.3
	15.0	FACE	-256.2	357.8	28250.1	-2857.0	-436.8	-16972.7
		BACK	76.1	-210.7	-8071.8	1431.1	123.3	8483.5
		TOTAL	-180.1	147.2	20178.3	-1425.9	-313.6	-8489.2
	0.0	FACE	-259.6	799.7	33802.9	-4763.2	5180.4	-6733.3
		BACK	61.1	-1519.5	53872.0	9188.0	-22621.3	158.4
		TOTAL	-198.5	-719.8	87674.9	4424.8	-17441.0	-6574.9

	3 BLADE TROUBLE CONDITION							
	BLADE CONDITION		FORCE (N)			TORQUE (Nm)		
			X	Y	Z	X	Y	Z
147	30.0	FACE	454.5	-48.3	8764.7	2187.7	2789.0	-8595.4
		BACK	-251.5	144.3	-2947.9	-1320.3	-1468.5	4545.6
		TOTAL	203.0	96.0	5816.8	867.4	1320.5	-4049.8
	25.0	FACE	602.1	331.1	13609.2	882.2	4517.2	-11242.2
		BACK	-386.4	-35.1	-4359.4	-468.4	-2564.2	5746.6
		TOTAL	215.6	296.0	9249.8	413.8	1953.0	-5495.7
	20.0	FACE	1600.8	727.5	23018.4	3379.7	11850.1	-14935.4
		BACK	-1042.2	-50.7	-6840.3	-1532.1	-6687.7	7656.0
		TOTAL	558.6	676.8	16178.1	1847.6	5162.4	-7279.4
	15.0	FACE	-2185.4	-89.0	27814.3	-5763.0	-12499.4	-16539.7
		BACK	1395.8	1473.7	-8055.0	5138.3	11633.9	12766.9
		TOTAL	-789.6	1384.6	19759.3	-624.7	-865.5	-3772.8
	0.0	FACE						
		BACK						
		TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

DATA UNTUK GRAFIK GAYA DAN TORSI

FORCE (N)						
	BLADE CONDITION		NORMAL	TROUBLE	SELISIH	PERSENTASE
735	30	X	12.2	2875.9	2863.7	23558.0
		Y	15.3	1006.9	991.6	6463.2
		Z	29031.3	70448.6	41417.3	142.7
	25	X	149.1	2984.1	2835.0	1900.9
		Y	18.3	24600.8	24582.6	134517.7
		Z	25769.8	2984.1	22785.7	88.4
	20	X	70.6	1761.4	1690.9	2395.7
		Y	219.6	595.7	376.1	171.3
		Z	31221.8	26500.9	4720.9	15.1
	15	X	14.3	1738.0	1723.7	12012.5
		Y	10.4	198.3	187.9	1807.9
		Z	27821.9	15229.5	12592.4	45.3
	0	X	688.5	0.0	688.5	100.0
		Y	64.9	0.0	64.9	100.0
		Z	78955.6	0.0	-78955.6	-100.0

FORCE (N)						
	BLADE CONDITION		NORMAL	TROUBLE	SELISIH	PERSENTASE
588	30	X	39.2	1854.8	1815.6	4635.4
		Y	8.0	184.6	176.6	2206.0
		Z	21313.9	21206.5	107.4	0.5
	25	X	32.7	1344.1	1311.4	4013.3
		Y	4.4	21599.7	21595.3	491963.1
		Z	24573.7	1344.1	23229.6	94.5
	20	X	29.7	1621.3	1591.6	5365.5
		Y	26.9	331.0	304.0	1128.5
		Z	20508.7	14385.0	6123.7	29.9
	15	X	9.5	626230.2	626220.7	6614076.0
		Y	3.5	9.3	5.8	164.4
		Z	12647.3	3605.1	9042.1	71.5
	0	X	350823.3	0.0	350823.3	100.0
		Y	9.3	0.0	9.3	100.0
		Z	77504.9	0.0	77504.9	100.0

DATA UNTUK GRAFIK GAYA DAN TORSI

FORCE (N)						
	BLADE CONDITION		NORMAL	TROUBLE	SELISIH	PERSENTASE
588	30	X	39.2	1854.8	1815.6	4635.4
		Y	8.0	184.6	176.6	2206.0
		Z	21313.9	21206.5	107.4	0.5
	25	X	32.7	1344.1	1311.4	4013.3
		Y	4.4	21599.7	21595.3	491963.1
		Z	24573.7	1344.1	23229.6	94.5
	20	X	29.7	1621.3	1591.6	5365.5
		Y	26.9	331.0	304.0	1128.5
		Z	20508.7	14385.0	6123.7	29.9
	15	X	9.5	626230.2	626220.7	6614076.0
		Y	3.5	9.3	5.8	164.4
		Z	12647.3	3605.1	9042.1	71.5
	0	X	350823.3	0.0	350823.3	100.0
		Y	9.3	0.0	9.3	100.0
		Z	77504.9	0.0	77504.9	100.0

TORQUE (Nm)						
	BLADE CONDITION		NORMAL	TROUBLE	SELISIH	PERSENTASE
588	30	X	155.5	5250.7	5095.1	3276.4
		Y	200.6	9235.1	9034.5	4504.3
		Z	23885.1	24022.5	137.4	0.6
	25	X	91.9	2675.0	2583.1	2811.5
		Y	175.1	7113.6	6938.4	3961.8
		Z	23025.5	21084.7	1940.8	8.4
	20	X	240.8	5588.9	5348.1	2220.6
		Y	32.2	9004.1	8971.9	27830.6
		Z	17146.7	14704.4	2442.3	14.2
	15	X	29.3	11824.0	11794.7	40259.1
		Y	43.1	8234.4	8191.3	19019.6
		Z	10993.4	9094.6	1898.8	17.3
	0	X	2436.4	0.0	2436.4	100.0
		Y	12655.3	0.0	12655.3	100.0
		Z	1028.0	0.0	1028.0	100.0

DATA UNTUK GRAFIK GAYA DAN TORSI

FORCE (N)						
	BLADE CONDITION		NORMAL	TROUBLE	SELISIH	PERSENTASE
441	30	X	1.3	1155.0	1153.7	87838.8
		Y	18.1	296.5	278.4	1539.9
		Z	14825.0	13053.9	1771.0	11.9
	25	X	41.5	1057.4	1015.9	2448.6
		Y	101325.5	8877.0	92448.6	91.2
		Z	1543.3	1057.4	485.8	31.5
	20	X	9.1	1059.7	1050.6	11571.0
		Y	3.9	336.1	332.2	8437.4
		Z	7274.1	2264.5	5009.6	68.9
	15	X	12.2	936.4	924.2	7565.1
		Y	67.1	251.6	184.5	275.1
		Z	1330.3	7835.4	6505.1	489.0
	0	X	453.5	0.0	453.5	100.0
		Y	107.2	0.0	107.2	100.0
		Z	74577.1	0.0	74577.1	100.0

TORQUE (Nm)						
	BLADE CONDITION		NORMAL	TROUBLE	SELISIH	PERSENTASE
441	30	X	59.3	891.7	832.4	1403.6
		Y	39.4	6793.0	6753.6	17153.7
		Z	16253.6	14777.4	1476.2	9.1
	25	X	52.8	2108.0	2055.2	3890.2
		Y	37.3	6130.2	6092.9	16341.0
		Z	12106.7	10182.9	1923.8	15.9
	20	X	45.6	4317.4	4271.8	9378.0
		Y	56.8	6351.5	6294.7	11090.6
		Z	7444.9	5788.9	1656.0	22.2
	15	X	34.7	9582.6	9547.8	27481.0
		Y	73.8	6839.1	6765.2	9163.1
		Z	2639.5	2054.9	584.7	22.1
	0	X	875.4	0.0	875.4	100.0
		Y	10528.7	0.0	10528.7	100.0
		Z	1538.5	0.0	1538.5	100.0

DATA UNTUK GRAFIK GAYA DAN TORSI

FORCE (N)						
	BLADE CONDITION		NORMAL	TROUBLE	SELISIH	PERSENTASE
294	30	X	3.0	735.7	732.7	24230.3
		Y	6.1	277.7	271.7	4463.0
		Z	3559.7	1803.7	1756.0	49.3
	25	X	4.8	695.0	690.2	14498.2
		Y	3.9	2153.7	2149.8	55810.3
		Z	131.0	695.0	564.0	430.4
	20	X	7.7	742.4	734.7	9586.9
		Y	0.8	477.7	476.8	56779.3
		Z	4742.3	9095.1	4352.8	91.8
	15	X	49.3	671.7	622.4	1263.2
		Y	27.8	353.0	325.2	1170.1
		Z	12983.9	18054.5	5070.6	39.1
	0	X	573.6	0.0	573.6	100.0
		Y	553.9	0.0	553.9	100.0
		Z	74520.0	0.0	74520.0	100.0

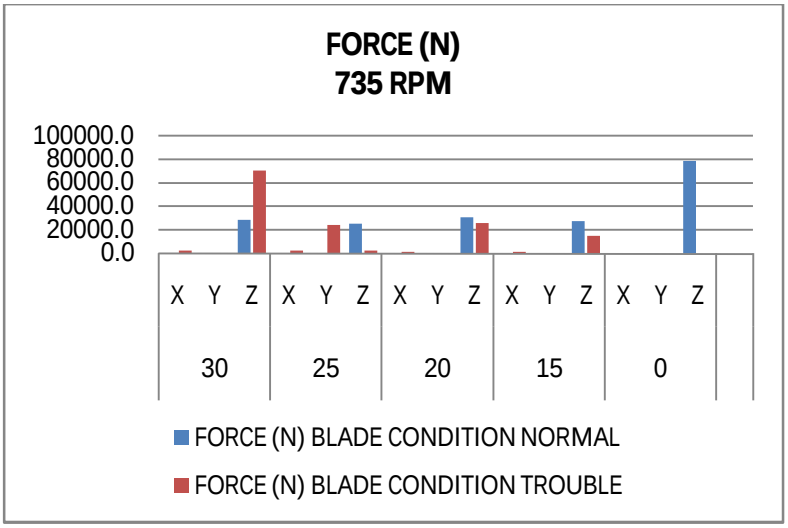
TORQUE (Nm)						
	BLADE CONDITION		NORMAL	TROUBLE	SELISIH	PERSENTASE
294	30	X	31.0	2028.5	1997.5	6445.7
		Y	7.5	7892.8	7885.3	105242.9
		Z	4976.9	4829.7	147.2	3.0
	25	X	28.5	1570.5	1542.1	5419.4
		Y	20.1	4493.7	4473.6	22247.2
		Z	1804.5	1007.5	797.0	44.2
	20	X	12.1	3442.8	3430.7	28367.5
		Y	60.0	5380.0	5320.1	8872.7
		Z	1206.5	2065.1	858.6	71.2
	15	X	329.5	8427.6	8098.1	2457.5
		Y	135.8	5554.1	5418.4	3991.3
		Z	4318.5	3982.4	336.2	7.8
	0	X	3910.0	0.0	3910.0	100.0
		Y	16119.4	0.0	16119.4	100.0
		Z	3945.9	0.0	3945.9	100.0

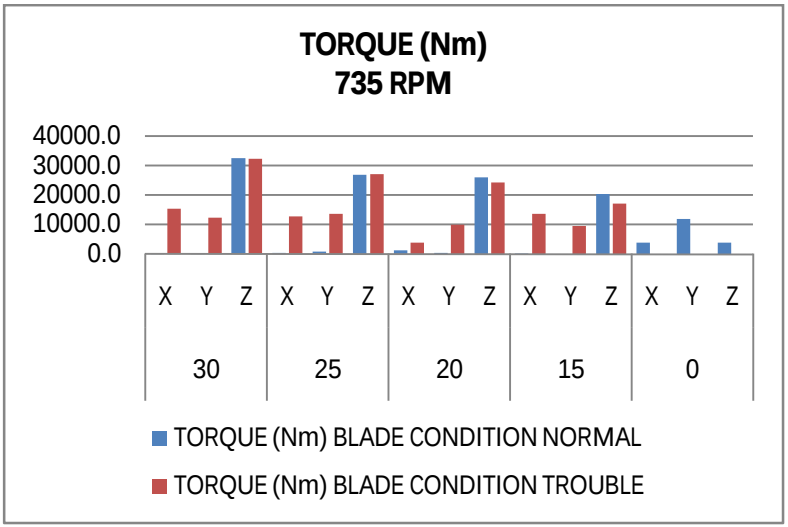
DATA UNTUK GRAFIK GAYA DAN TORSI

FORCE (N)						
	BLADE CONDITION		NORMAL	TROUBLE	SELISIH	PERSENTASE
147	30	X	25.6	203.0	177.4	693.4
		Y	7.0	96.0	89.1	1280.3
		Z	4211.5	5816.8	1605.3	38.1
	25	X	8.7	215.6	206.9	2378.5
		Y	217.1	9249.8	9032.7	4160.8
		Z	7408.7	215.6	7193.0	97.1
	20	X	65.9	558.6	492.8	748.3
		Y	19.3	676.8	657.5	3409.8
		Z	12334.9	16178.1	3843.2	31.2
	15	X	180.1	789.6	609.5	338.4
		Y	147.2	1384.6	1237.5	840.8
		Z	20178.3	19759.3	419.0	2.1
	0	X	198.5	0.0	198.5	100.0
		Y	719.8	0.0	719.8	100.0
		Z	87674.9	0.0	87674.9	100.0

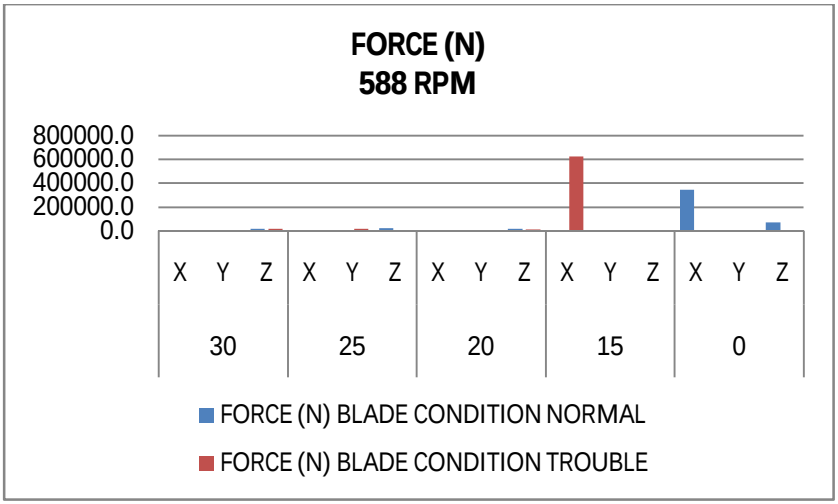
TORQUE (Nm)						
	BLADE CONDITION		NORMAL	TROUBLE	SELISIH	PERSENTASE
147	30	X	6.5	867.4	860.9	13173.6
		Y	125.6	1320.5	1194.9	951.7
		Z	3312.5	4049.8	737.3	22.3
	25	X	581.8	413.8	168.0	28.9
		Y	180.2	1953.0	1772.8	984.1
		Z	5022.8	5495.7	472.8	9.4
	20	X	344.8	1847.6	1502.8	435.9
		Y	351.2	5162.4	4811.3	1370.1
		Z	6774.3	7279.4	505.1	7.5
	15	X	1425.9	624.7	801.2	56.2
		Y	313.6	865.5	551.9	176.0
		Z	8489.2	3772.8	4716.4	55.6
	0	X	4424.8	0.0	4424.8	100.0
		Y	17441.0	0.0	17441.0	100.0
		Z	6574.9	0.0	6574.9	100.0

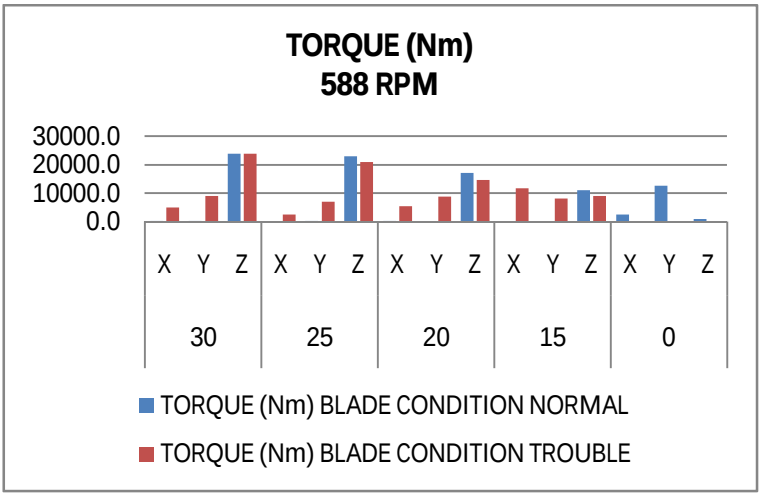
GRAFIK GAYA DAN TORSI



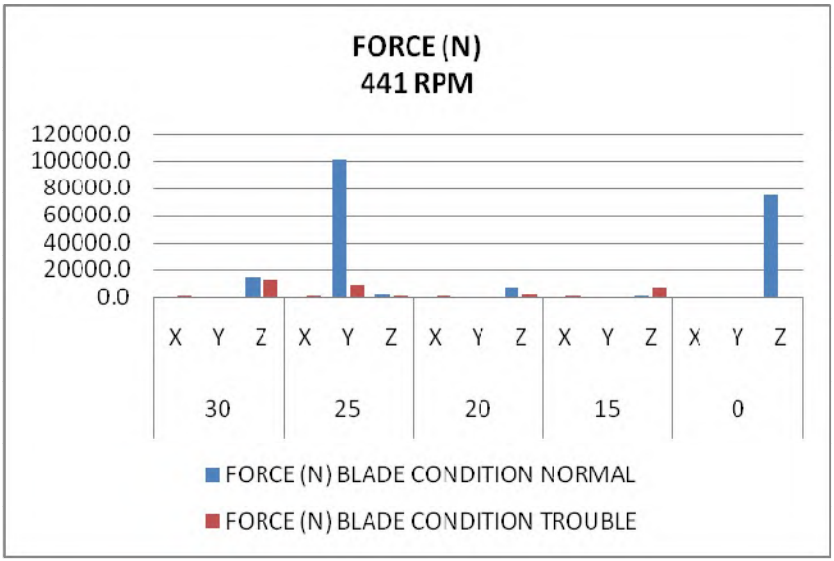


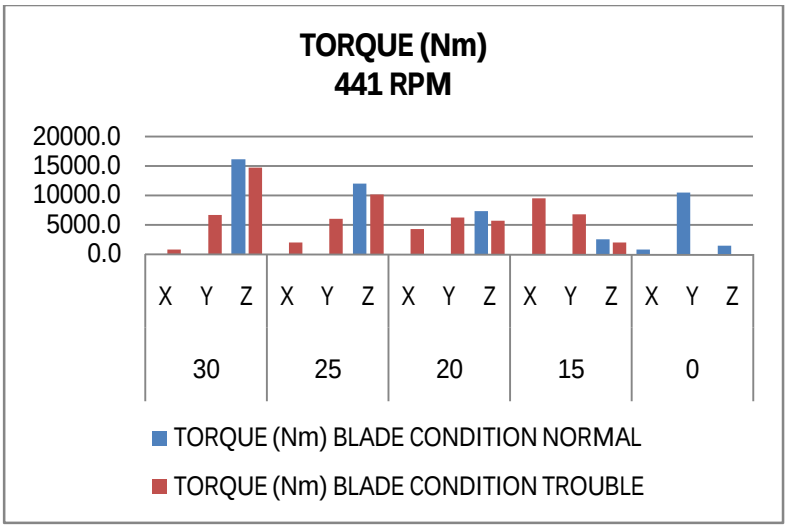
GRAFIK GAYA DAN TORSI



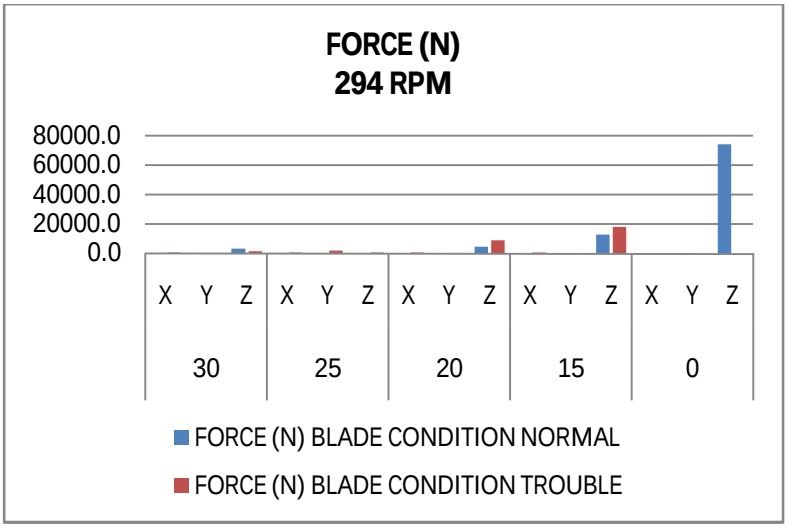


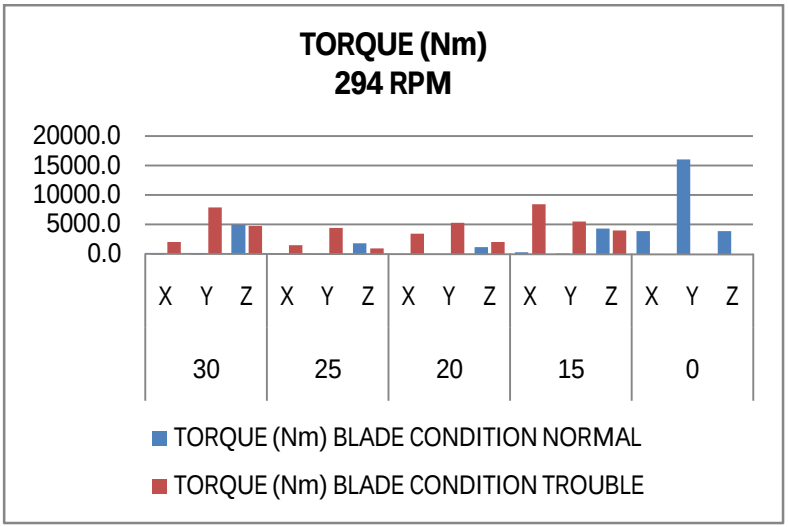
GRAFIK GAYA DAN TORSI



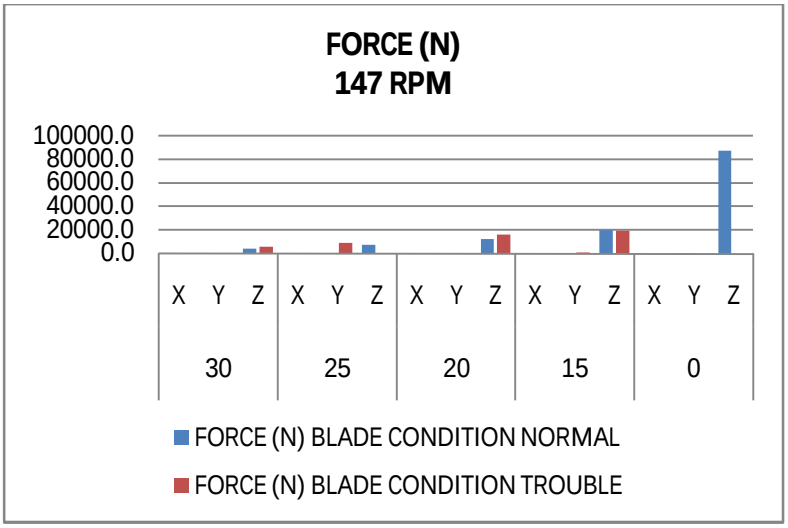


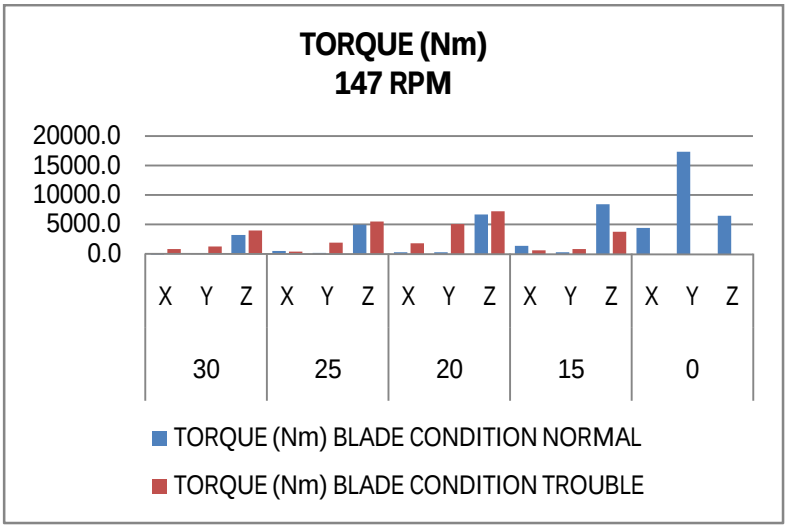
GRAFIK GAYA DAN TORSI





GRAFIK GAYA DAN TORSI





BIODATA PENULIS

Terlahir dengan nama lengkap Samuel Anderson Tambunan di kota Medan pada tanggal 12 Juli 1991. Merupakan anak Pertama dari 4 bersaudara dari pasangan orang tua Ir. Hasoloan Tambunan dan Pesta Juniati br.tobing Masa kecil penulis dihabiskan di kota medan hingga SMA. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD. Bersubsidi Markus Medan, SMP dan SMA di yayasan Perguruan Swasta SUTOMO 1. Penulis kemudian melanjutkan studinya pada tahun 2009 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya di jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan. Selama masa studi di ITS penulis aktif di lingkup jurusan dengan menjadi pengurus/anggota Laboratorium Marine Manufacturing and Design (MMD).Penulis juga aktif mengikuti berbagai Seminar yang diadakan oleh pihak ITS maupun dari luar ITS untuk mendapatkan ilmu tambahan yang mendukung proses kegiatan kuliah maupun proses pengembangan diri penulis. Penulis juga pernah mengikuti berbagai kepanitiaan di luar ITS. Di Semester akhir, Penulis mengambil Skripsi di bidang Marine Manufacturing and Design (MMD).

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi, analisa data, dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil simulasi CFD , ketika kondisi 3 *blade* sudut (*pitch*) bermasalah telah mengakibatkan kenaikan gaya radial *blade* ke arah sumbu y dan x dan akan terjadinya peningkatan momen puntir blade pada sumbu x dan y yaitu sumbu x dan y yaitu Mx dan My. Hal ini akan mengakibatkan berkurangnya umur bantalan bearing
2. Pada tumpuan 3 (*bearing* dekat *blade*) pengaruh 3 sudut *blade* (*uniform*) dengan sudut lainnya akan menyebabkan umur *bearing* dari desain semula 2 tahun lebih cepat menjadi (24bulan) 8 – 10 bulan
3. Pada tumpuan 2 umur desain bantalan sekitar 7 – 10 tahun, bila terjadi masalah putaran *trouble* (akibat 3 blade bermasalah) umur bantalan pada tumpuan 2 menjadi 2 tahun

5.2 Saran

1. Dari kajian teknis yang ada diatas menunjukkan 3 *blade* yang berbeda *pitch* tersebut harus diganti agar tidak menyebabkan kerusakan lagi pada *bearing*
2. Desain umur bantalan (*bearing*) ditumpuan 3 harus diganti agar umur bantalan lebih lama yaitu dengan mencari kemampuan bantalan (*bearing*) dengan *Basic Dynamic Load Rating* (Cr) dan *Basic Static Load Rating* diatas 2.400.000 N untuk umur desain 5 tahun atau diatas 3.000.000 N untuk umur desain 10 tahun

“halaman ini sengaja dikosongkan”