



ANALISIS AEROELASTISITAS STATIK DAN KELELAHAN PADA BLADE COMPRESOR DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Adhitya Kurniawan
2411100102

Dosen Pembimbing
Dr.Gunawan Nugroho, S.T.,M.T.
Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc.

Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya



CONTENTS

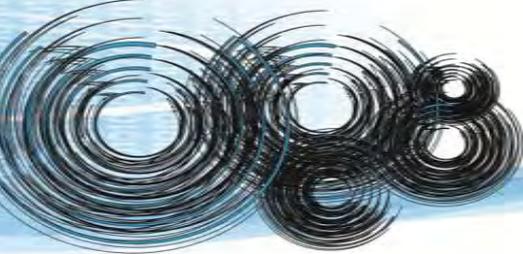
PENDAHULUAN

DASAR TEORI

METODOLOGI

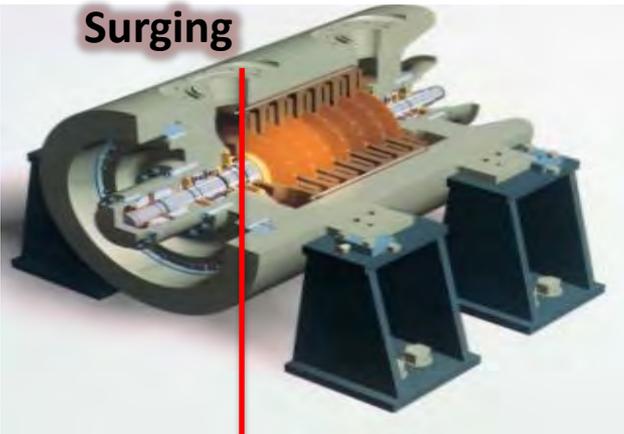
PEMBAHASAN DAN KESIMPULAN

DAFTAR PUSTAKA

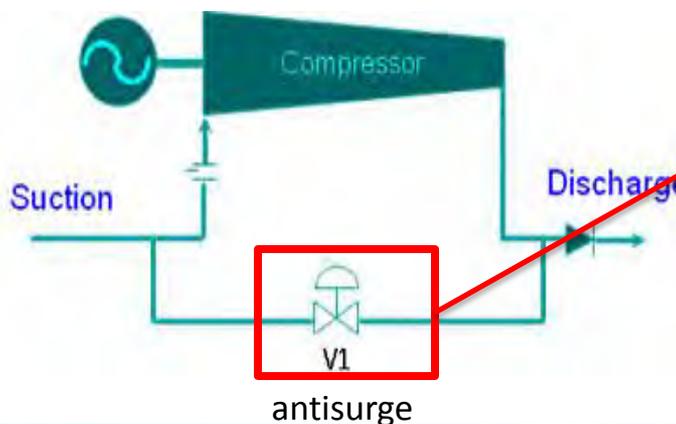


PENDAHULUAN

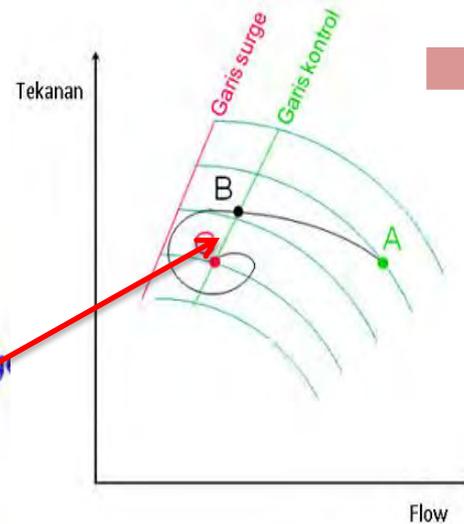
Surging



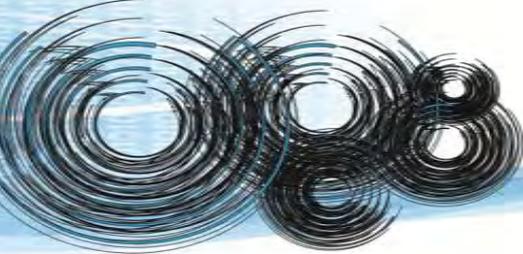
R-B TYPE (BARREL TYPE) VERTICAL SPLIT CASING MULTI-STAGE CENTRIFUGAL COMPRESSOR



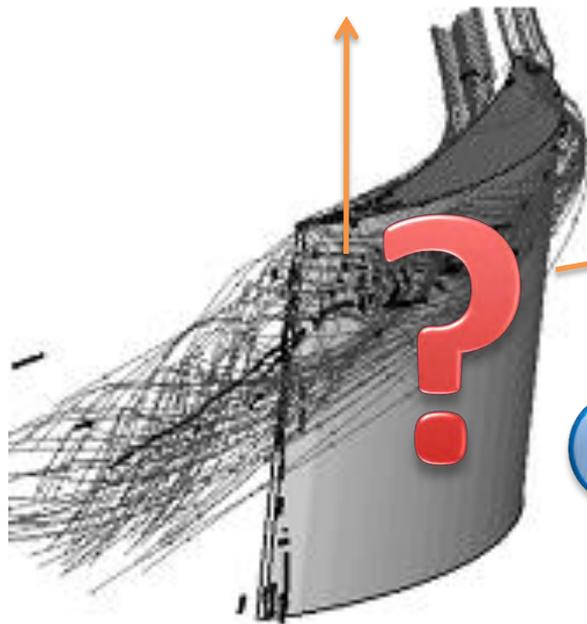
Kompresor adalah alat mekanik yang berfungsi meningkatkan tekanan fluida mampu mampat, yaitu gas atau udara. Tujuan meningkatkan tekanan dapat untuk mengalirkan atau kebutuhan proses dalam suatu sistem proses yang lebih besar



suatu fenomena dari compressor di mana tekanan naik dan turun dengan tidak teratur, hal ini dapat mengakibatkan aliran balik pada down stream, dimana compressor berusaha terus menekan gas tetapi sistem mengembalikannya (prastya, 2011)



kesesuaian gaya aerodinamis secara *unsteady* pada penampang blade harus dipahami dengan benar untuk memungkinkan prediksi yang akurat terhadap beban aerodinamis dan respon aeroelastis pada system rotor (Johansen, 1999).

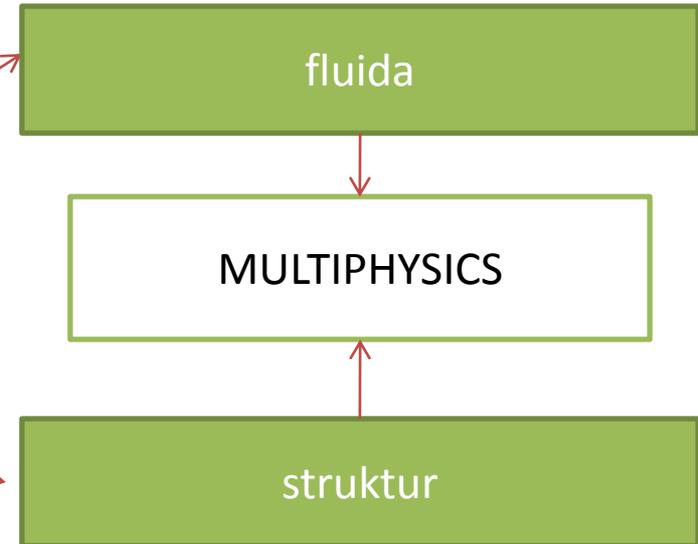
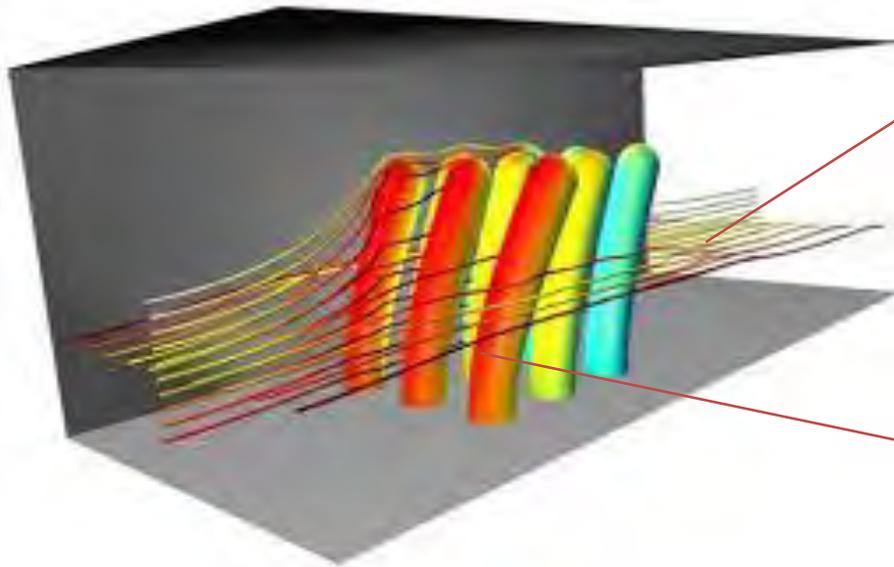


Kelelahan material

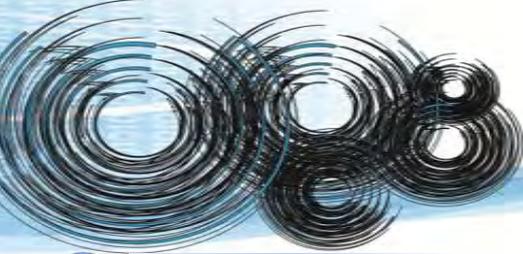


Diperkirakan 50%-90% kegagalan mekanis disebabkan oleh kelelahan (Ir. Sarjito Jokosisworo & Jajang Sebastian, 2011). Statistik di dalam sebuah industri turbin gas mendikasikan 62%

... bentuk kegagalan pada struktur beban dinamik yang berfluktuasi di bawah tegangan yield strength yang terjadi dalam waktu yang lama dan berulang-ulang.



Azzeddine Soulaïmani (2005) melakukan penelitian penyelesaian metode multi-physics dalam analisa komputasional *nonlinear aeroelastisity*. Erkut baskut (2011) melakukan pengembangan metode *fluid-structure coupling* pada aeroelastisitas statik



Permasalahan

Dari latar belakang diatas, maka permasalahan yang dapat diambil yaitu:

1. Bagaimana tegangan statik akibat gaya *aerodinamika* pada *blade* kompresor menyebar
2. Bagaimana kelelahan pada *blade* kompresor akibat gaya *aerodinamika*

Batasan masalah

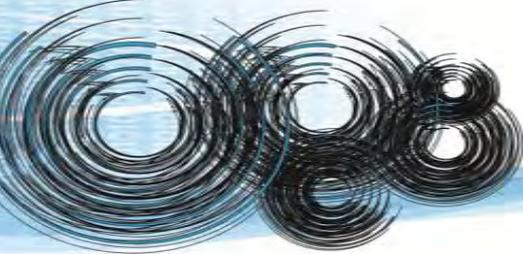
1. Beban lingkungan yang ditinjau adalah beban akibat gaya *aerodinamika* dari tekanan masukan stage 3 dan tekanan masukan dari kontrol *antisurging*
2. *blade* yang dianalisa hanya *blade* pada stage 3 yang berada di bawah *section* anti *surging* dan didepan *antisurging*
3. Propertis material yang dipakai dalam analisa titanium 64 alloy
4. Tipe analisa kelelahan menggunakan metode nominal *stress-life* (S-N) dengan diterapkan tipe pembebanan amplitudo konstan (*fully reversed*) serta efek tegangan rata-rata adalah teori *Gerber*.

tujuan

Dari latar belakang diatas, maka permasalahan yang dapat diambil yaitu:

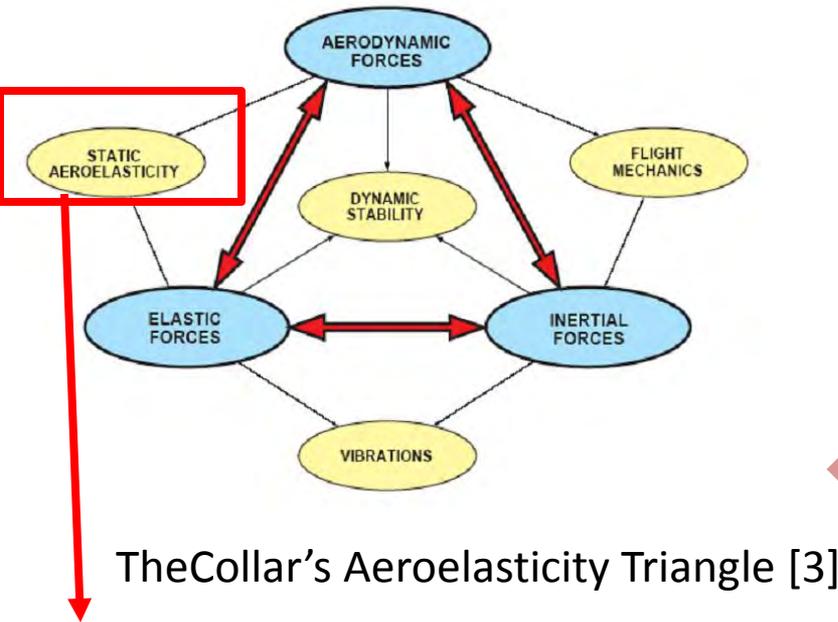
Tujuan dilakukannya penelitian tugas akhir ini ada dua macam, yaitu:

1. Mengetahui tegangan static akibat gaya aerodinamika pada blade compressor
2. Mengetahui penyebaran retak pada pada blade compressor



DASAR TEORI

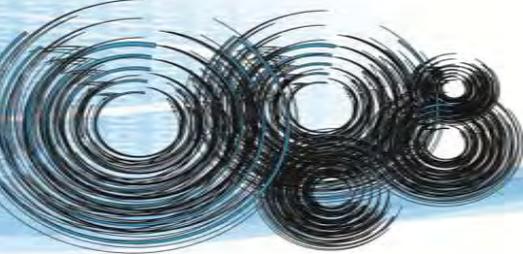
Mossa, Abdul Aeroelastic Analysis of Aircraft with Control Surfaces Using CFD. University of Glasgow, Glasgow 2002



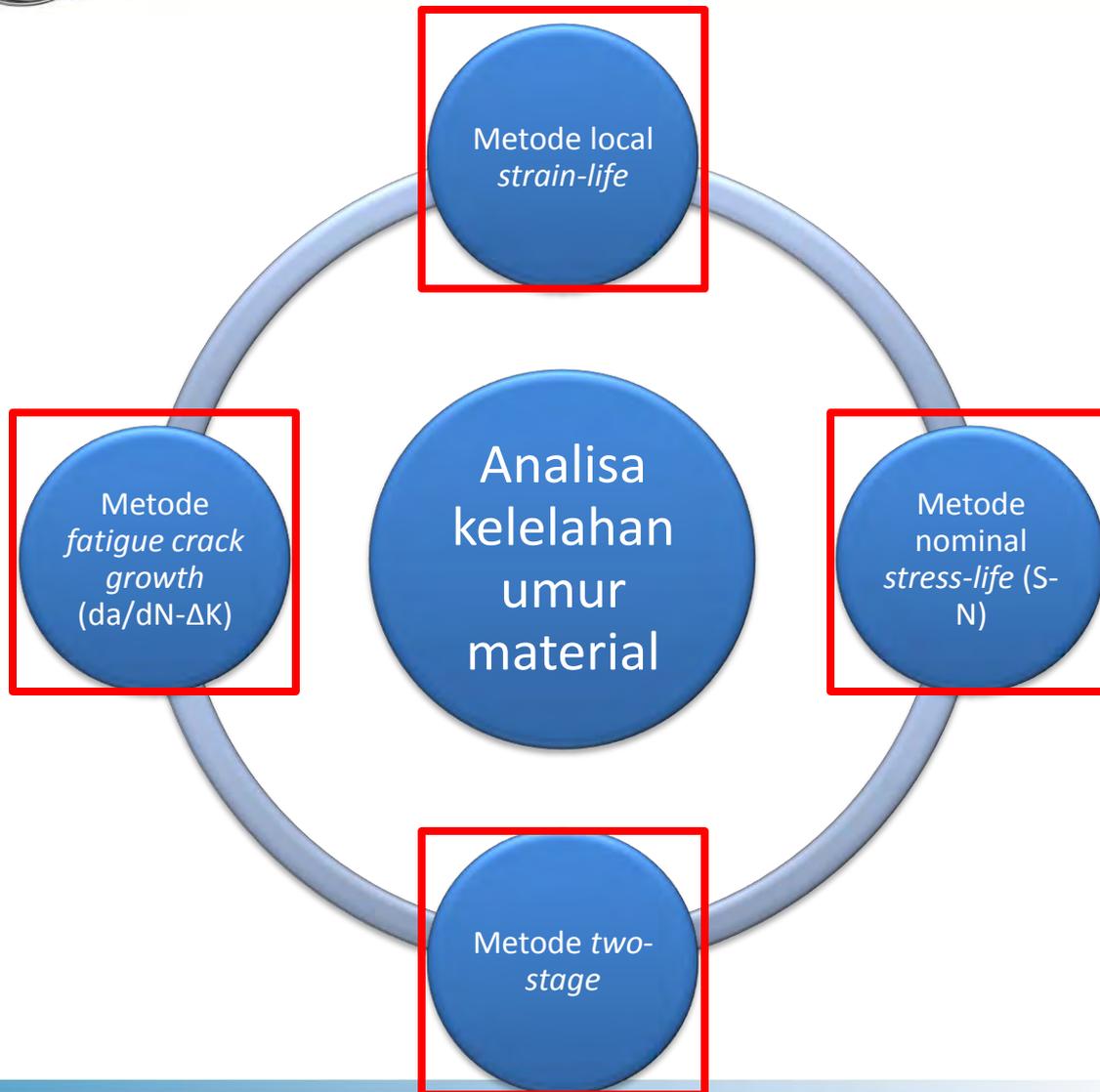
Setiap benda atau material memiliki sifat elastisitas, ketika benda atau material itu dikenai beban, benda akan berdeformasi atau berubah bentuk, menuju keseimbangan baru antara struktur dan beban yang dikenai pada struktur tersebut

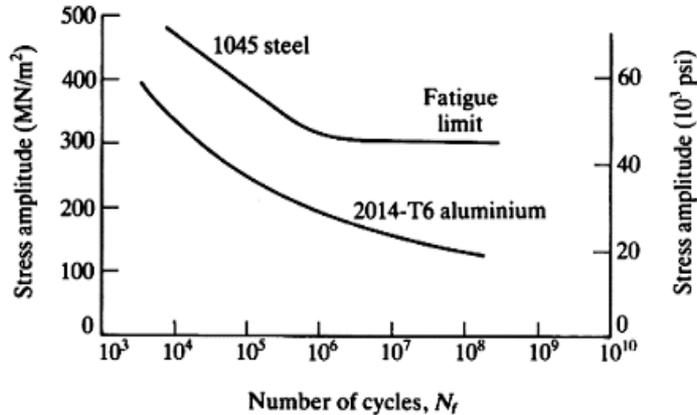
Aeroelastik adalah salah satu bidang kajian yang membahas mengenai interaksi antara beban aerodinamika dan elastisitas dari struktur yang dikenai beban aerodinamika tersebut

Meihat deformasi struktur yang disebabkan gaya aerodinamika pada pada bahan



KELELAHAN MATERIAL





sekema kurva S-N diperoleh melalui salah satu pembebanan yaitu pembebanan aksial atau melalui kondisi kontrol pengujian tegangan dengan sepesimen poles seperti terlihat pada gambar 2.7 dimana S adalah tegangan nominal aplikasi, pada umumnya disebut sebagai tegangan alternating (S_a) dan N_f adalah jumlah siklus atau umur sampai gagal



Efek Tegangan rata-rata

Teori Gerber

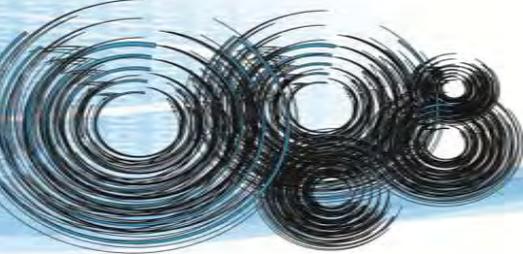
- Diagram limit dengan tegangan yang pertama kali di kemukakakan oleh *Gerber* pada tahun 1874

Teori Goodman

- Diagram yang berbeda diterapkan oleh *Goodman* tahun 1899

Teori Soderberg

- Pada Tahun 1930, *Soderberg* mengkonstruksikan suatu diagram limit tegangan sangat konservatif yang mempersentasikan

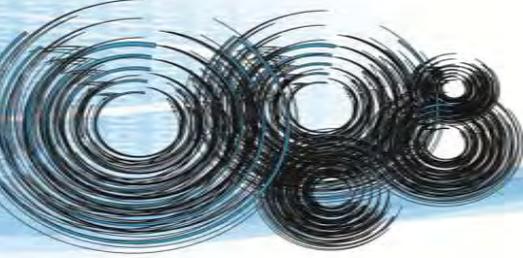


Faktor Modifikasi batas kelelahan

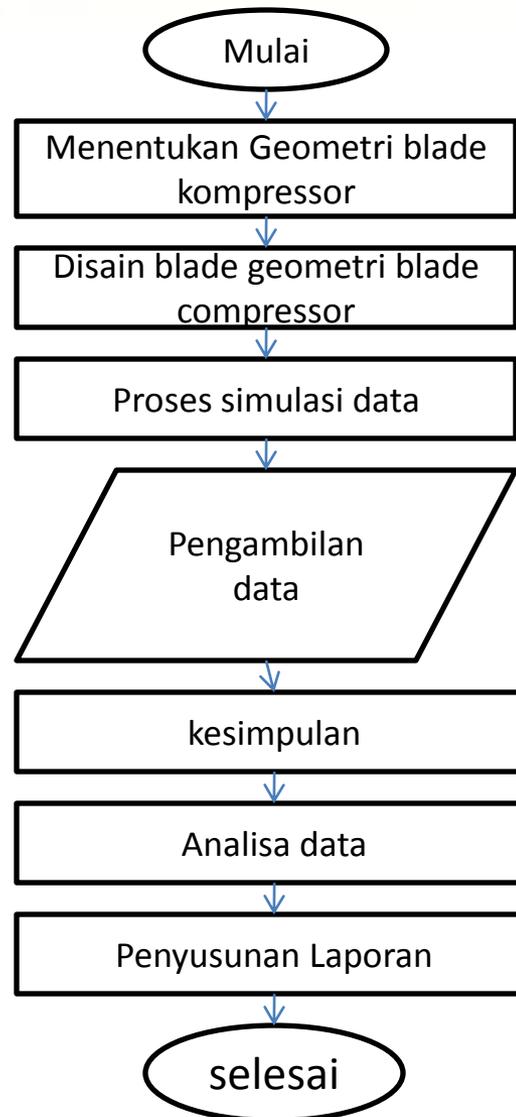
Berdasarkan kondisi-kondisi batas diatas Marlin menggolongkan sebagai faktor modifikasi batas kelelahan dan merumuskannya menjadi persamaan sebagai berikut:

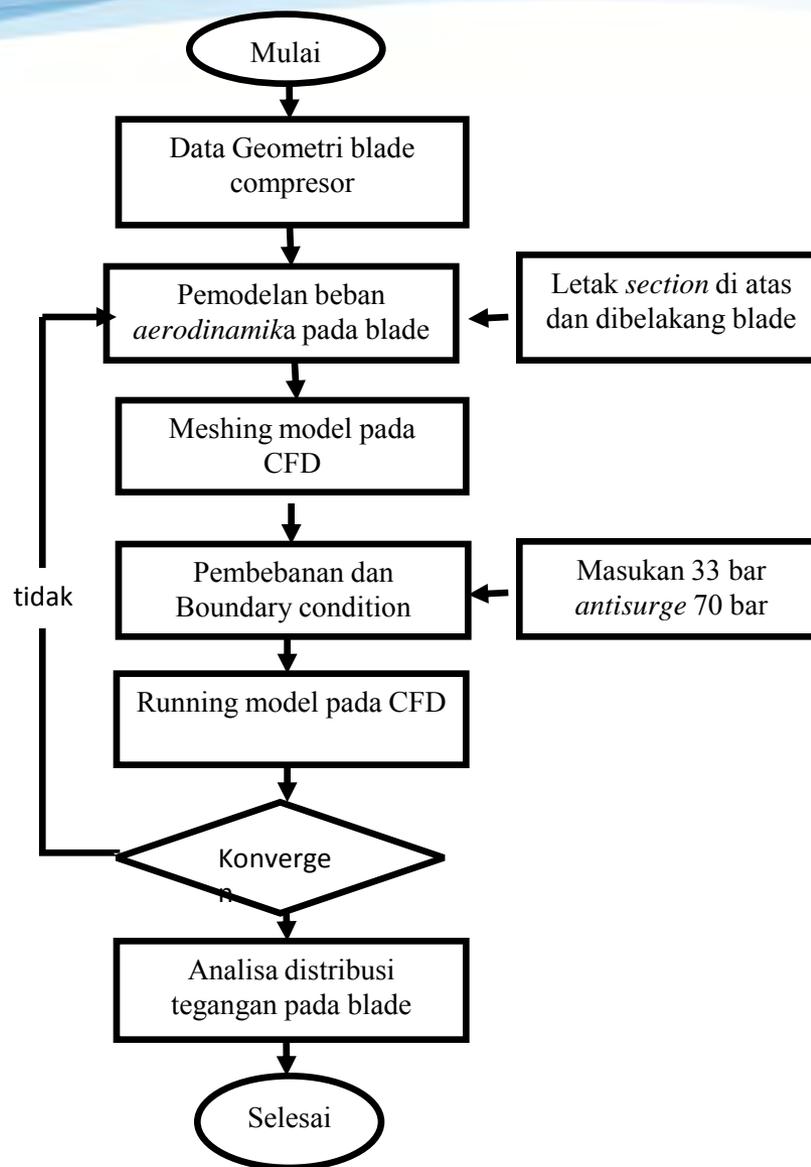
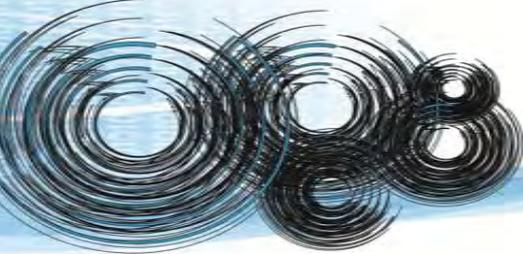
$$S_f = K_s K_d K_k K_t K'_f K_o S'_f$$

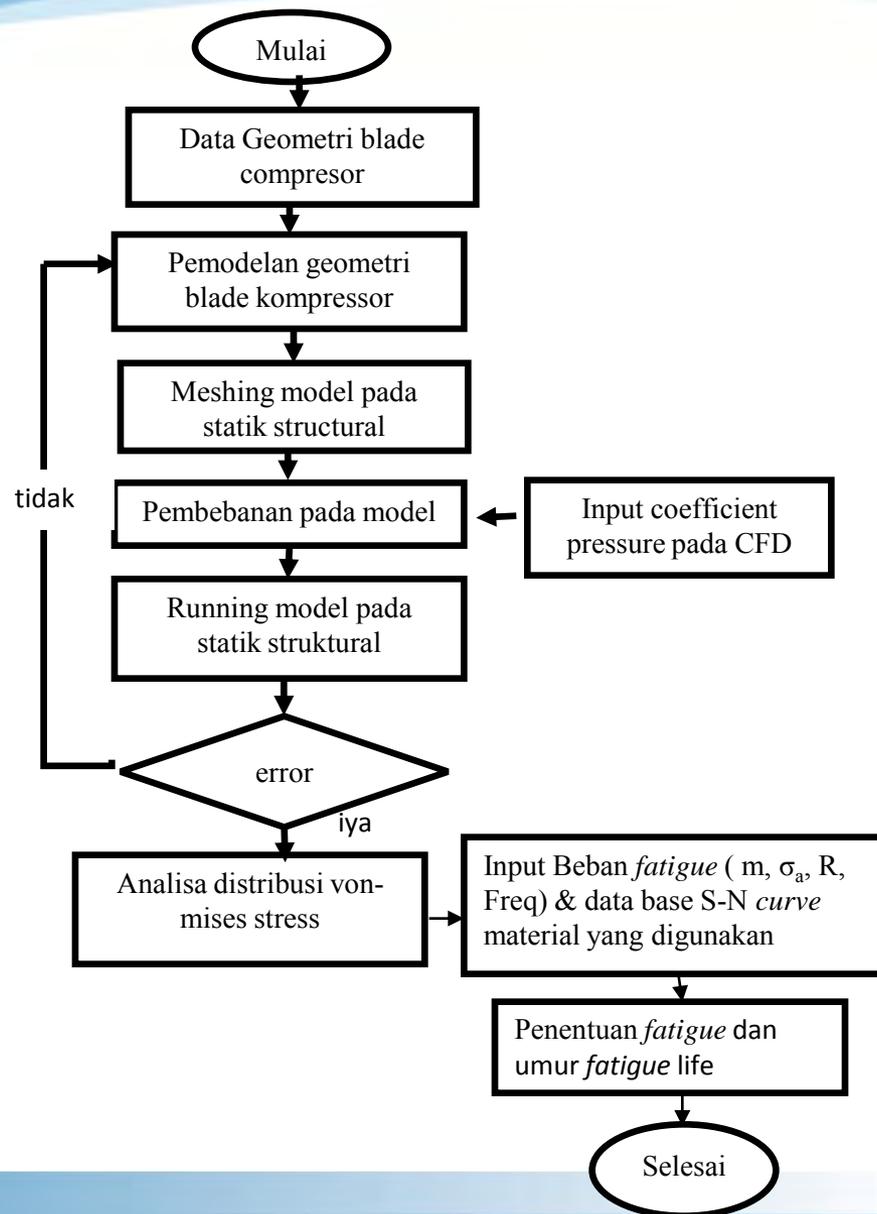
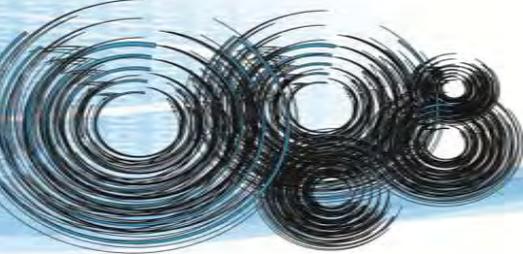
Dimana S_f adalah batas kelelahan struktur S'_f adalah batas kelelahan uji laboratorium, K_s adalah faktor modifikasi permukaan, K_d adalah faktor modifikasi ukuran, K_r adalah faktor modifikasi pembebanan, K_f adalah faktor modifikasi pemusatan tegangan dan K_o adalah faktor modifikasi karena pengaruh lainnya

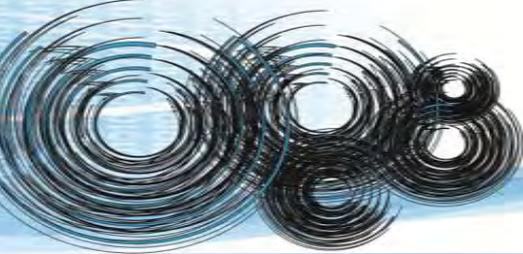


Metodologi Penelitian







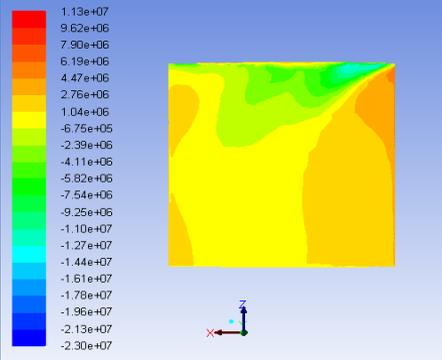


Analisa Data

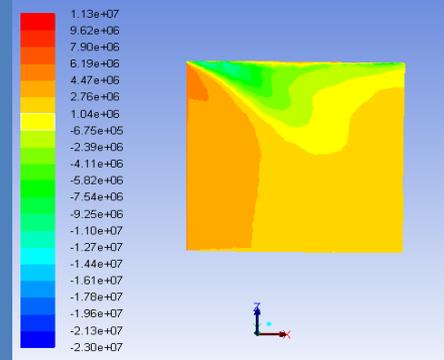


Pressure permukaan blade

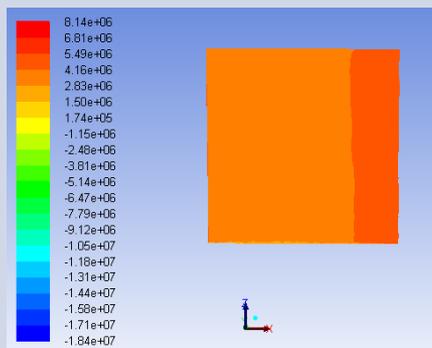
Pressure Uperchamber input section antisurge diatas blade



Pressure Uperchamber Pressure input section section tepat diatas blade

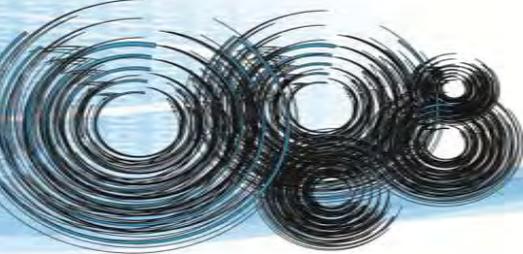


Pressure Uperchamber input dibelakang antisurge dibelakang blade



Pressure Uperchamber Pressure input section section tepat di belakang blade





ANALISA STATIK



Tekanan Von mises

input section *antisurge* diatas *lade*

B: Static Structural

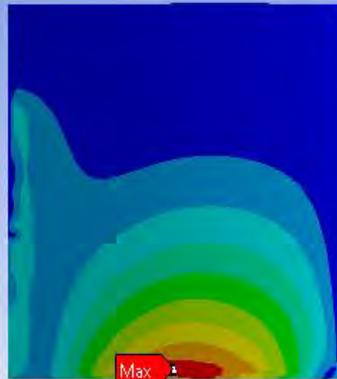
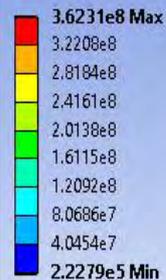
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: Pa

Time: 1

4/8/2015 1:59 PM



input section *antisurge* dibelakang *lade*

B: Static Structural

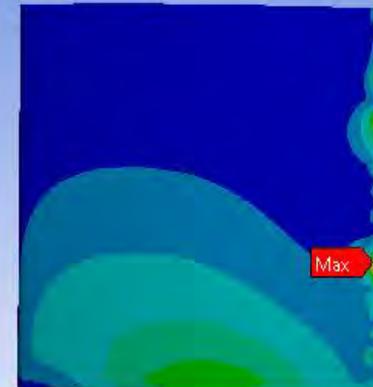
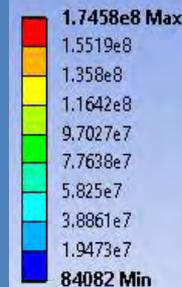
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

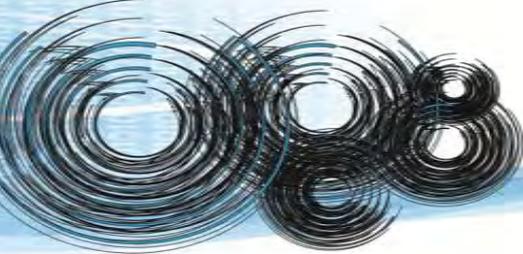
Unit: Pa

Time: 1

4/8/2015 2:34 PM



Pada sebuah blade kompresor retak maksimum biasanya berada di bagian cembung pada *blade* kompresor, retak ini berada 6 mm diatas pengunci *blade* (Roylance, 2001). Perambatan retak ini juga dimulai dibagian cembung pada balde kompresor aksial (Kirthan.L.J R. H., 2014)



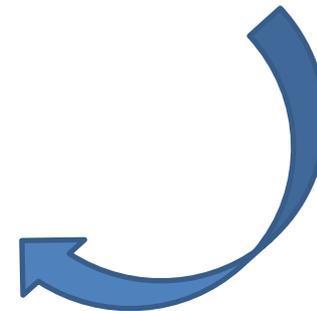
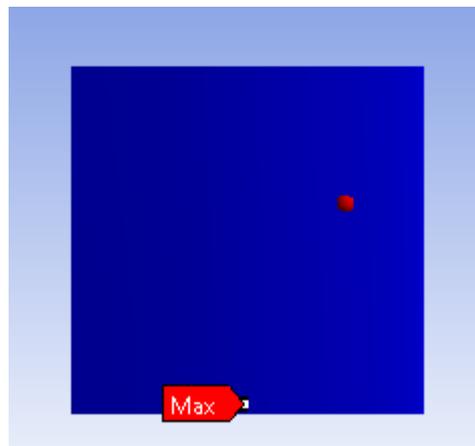
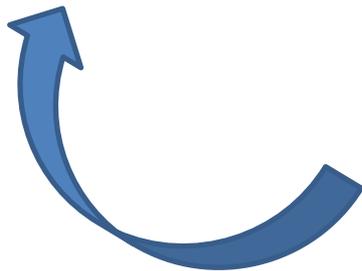
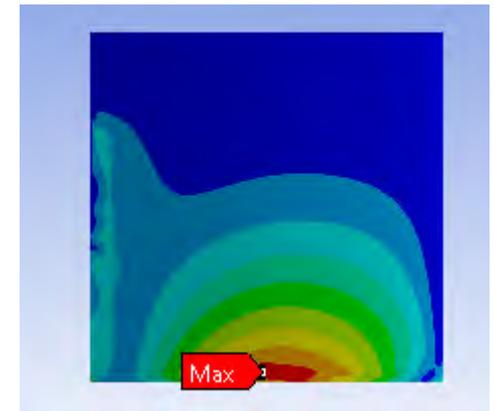
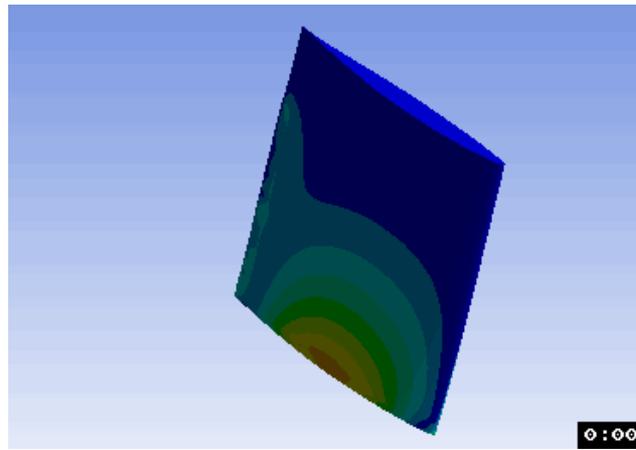
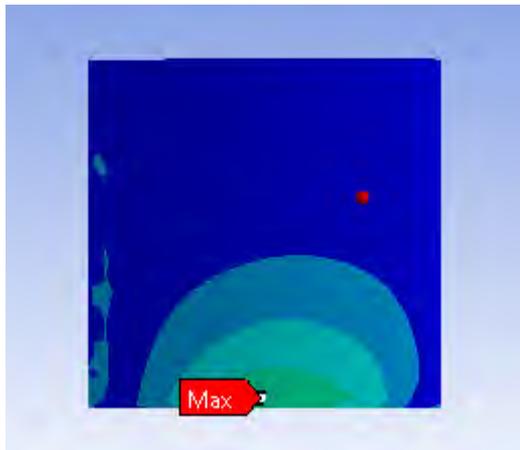
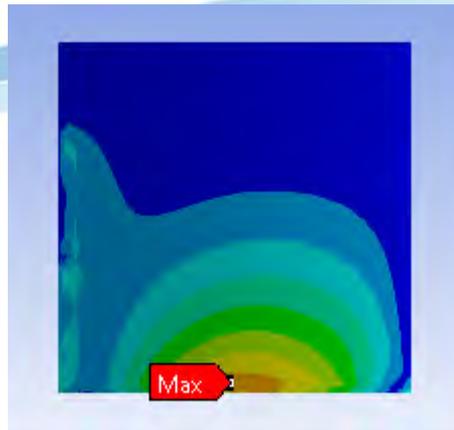
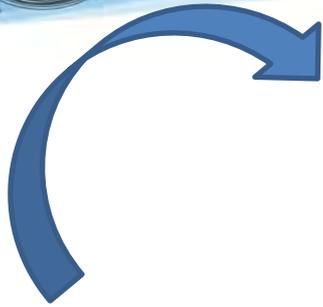
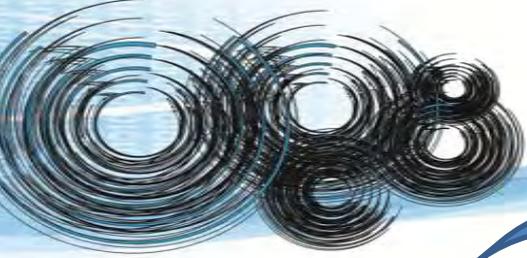
input	Di atas <i>blade</i>	Di belakang blde
	Maximum (Mpa)	Maximum (Mpa)
Input 30 bar , input <i>section</i> <i>antisurge</i> 70 bar	362	174

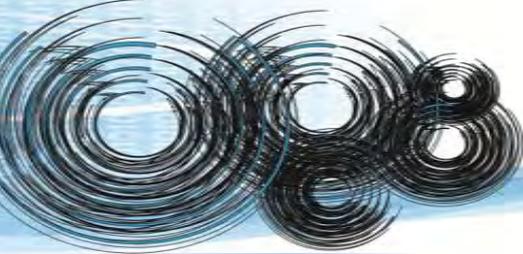


menurut Anggono dan Suprianto (2008) menyatakan bahwa tegangan *von mises* maksimum harus lebih kecil dari tegangan tarik yield/mulur material. Dalam hal ini tegangan yield atau mulur material titanium 6v4al adalah 930 Mpa



Input beban	Von mises	
	Di atas <i>blade</i>	Di belakang <i>blade</i>
Input 30 bar , input <i>section</i> 70 bar	aman	Aman

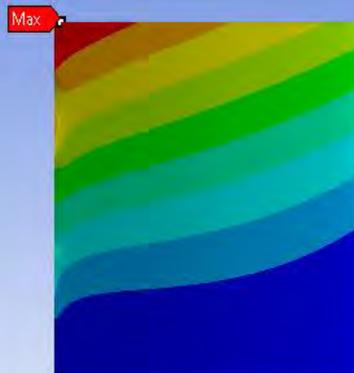
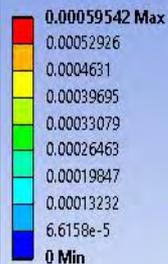




Deformasi

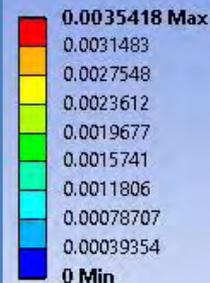
input section antisurge diatas lade

B: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: m
Time: 1
4/8/2015 3:30 PM

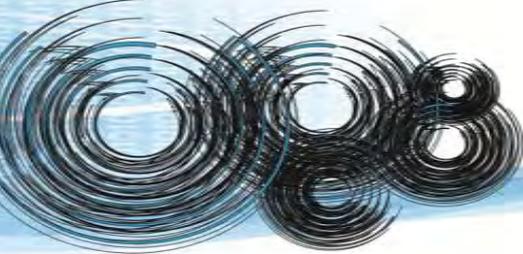


input section antisurge dibelakang lade

B: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: m
Time: 1
4/8/2015 2:03 PM



Selain itu saat diberikan sebuah gaya *aerodinamika* juga memungkinkan terjadinya sebuah fenomena *fretting fatigue*. *Fretting fatigue* didefinisikan sebagai sebuah proses gesekan antara dua buah permukaan yang bersilasi dengan amplitudo kecil (Al Huston, 2002)



Input	Di atas <i>blade</i>	Di belakang <i>blade</i>
	Total <i>deformasi</i> maximum (mm)	Total <i>deformasi</i> maximum (mm)
Input 30 bar , input <i>section</i> 70 bar	3.5418 (kritis)	1.2405 (kritis)

menurut Anggono dan Suprianto (2008) menyatakan bahwa syarat *deformasi* yang di ijinan oleh struktur adalah kurang dari 1mm

input	Di atas <i>blade</i>			Di belakang <i>blade</i>		
	<i>Deformasi</i> (mm)			<i>Deformasi</i> (mm)		
Input 30 bar , input <i>section</i> 70 bar	X	y	z	x	y	z
		0.058217 (aman)	3.5411 (kritis)	0.189 (Aman)	0.019238 (aman)	1.2402 (kritis)

Dalam sebuah kompresor sering sekali terjadi fretting *fatigue*, hal ini terjadi antara blade dengan penguncinya yang menyebabkan patahnya blade (A. keremanpur, 2008).



ANALISA KELELAHAN

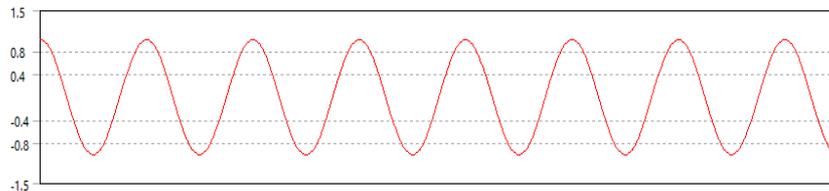


Analisa Kelelahan Material

Stress intensitiy faktor (Kf)	1
Loading type	1s
Scala faktor	fully reversed
Analisa type	<i>stress-life</i>
Mean stress theory	Geber
Stress component	Equivalent (Von Mises)
Life units	<i>Cycles</i>

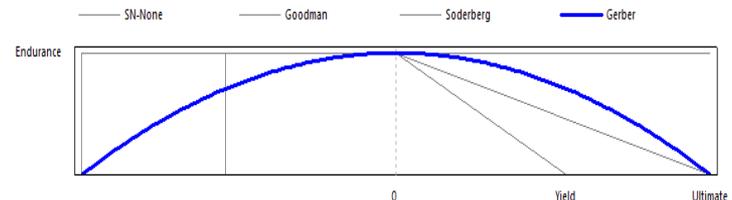
Berdasarkan peta dari tipe analisis (*map of analysis type*), analisa kelelahan material merupakan bagian dari perilaku statik. Perilaku ini biasanya disebut dengan metode kalkulasi quasi-statik. Metode kalkulasi quasi-statik adalah proses kalkulasi dimana struktur dalam gerakan dinamis seolah-olah dianalisa dalam keadaan statik.

parameter details of *fatigue tool*

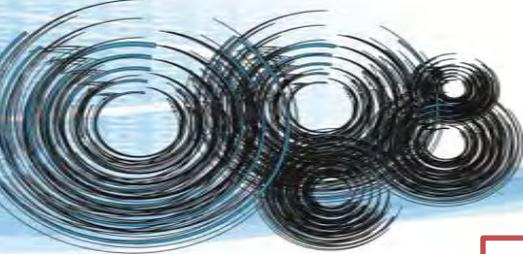


Gambar pembebanan amplitudo konstan

Mean Stress Correction Theory



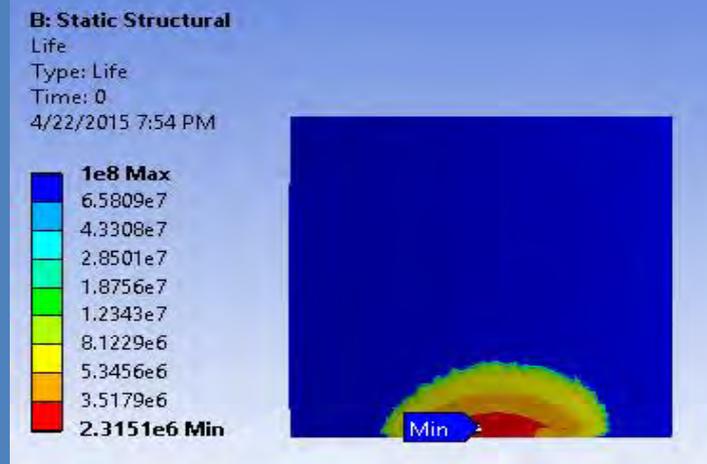
Efek tegangan rata-rata



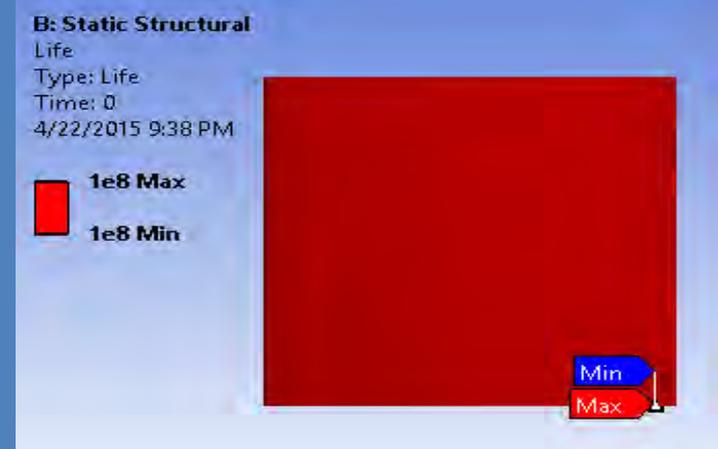
Fatigue Life

Hasil simulasi dilakukan dengan penerapan beban amplitudo konstan, maka hasil yang diperoleh merupakan jumlah siklus sampai struktur tersebut gagal

input section antisurge diatas lade



input section antisurge dibelakang lade



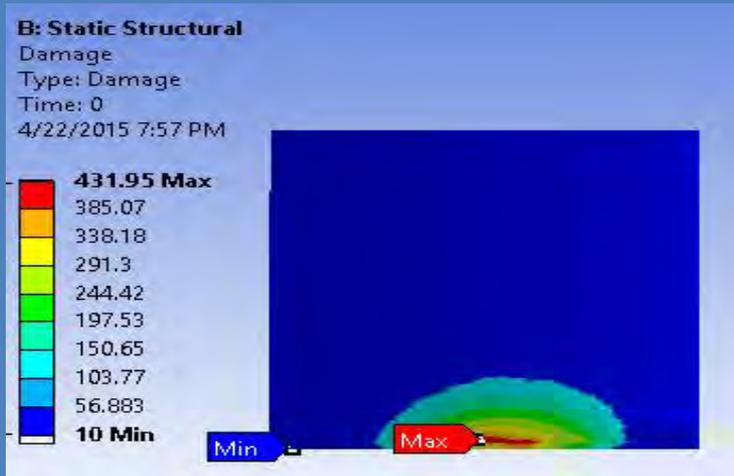
input	Di atas <i>blade</i>	Di belakang <i>blade</i>
	Life (minimal)	Life (minimal)
Input 30 bar , input section antisurge 70 bar	2.315e6 cycle	1e8 cycle



Kerusakan pada blade

Kerusakan akibat kelelahan didefinisikan sebagai umur desain dibagi dengan umur hasil simulasi atau umur yang diperoleh

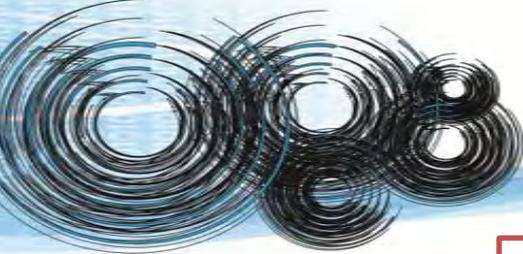
input section antisurge diatas lade



input section antisurge dibelakang lade



input	Di atas <i>blade</i>		Di belakang <i>blade</i>	
	damage		damege	
	max	min	max	Min
Input 30 bar , input section 70 bar	431,95	10	10	10

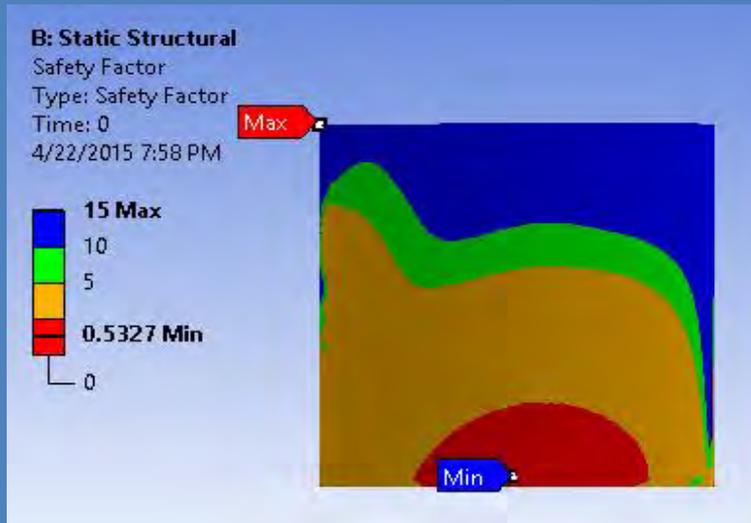


Faktor keamanan di definisikan perbandingan antara batas kekuatan lelah dibagi dengan tegangan alternating. Simulasi faktor keamanan harus didasarkan juga pada umur desain yang diberikan

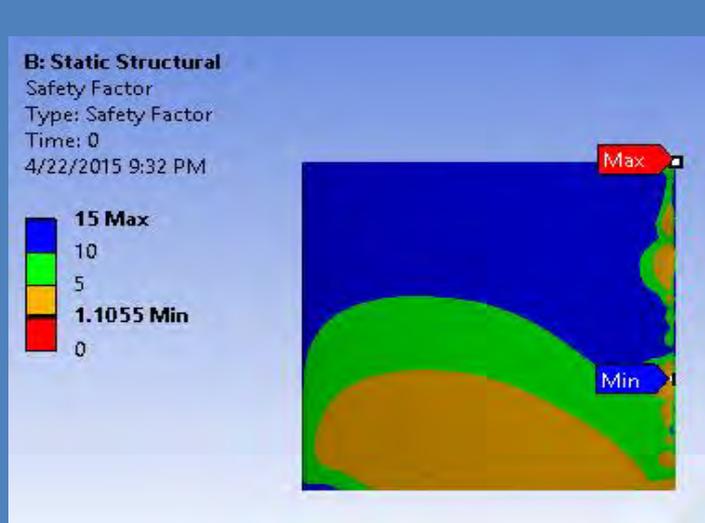


Faktor keamanan

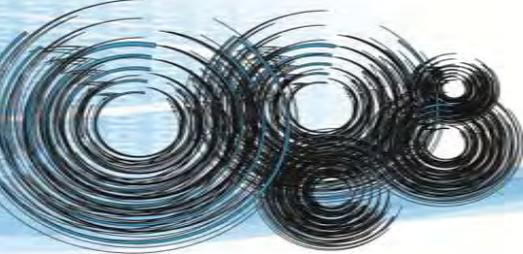
input section antisurge diatas lade



input section antisurge dibelakang lade



input	Di atas blade	Di belakang blade
	Safety faktor	Safety faktor
Input 30 bar , input section 70 bar	0.53	1.1055



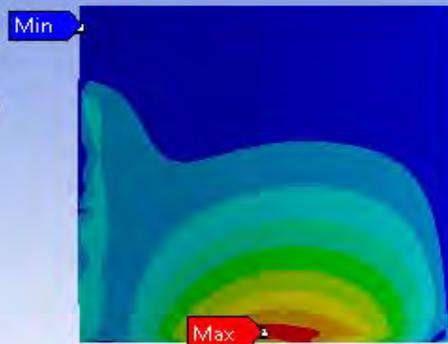
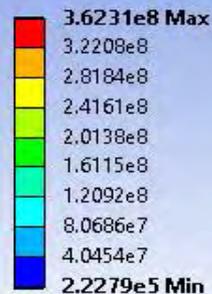
Equivalenm alternaitng stress

Tegangan alternating ekivalen yang didapat melalui analisa kelelahan berdasarkan metode *stress-life* adalah tegangan yang dibutuhkan untuk menghubungkan keadaan tegangan dan umur pada kurva S-N

input section antisurge diatas blade

B: Static Structural

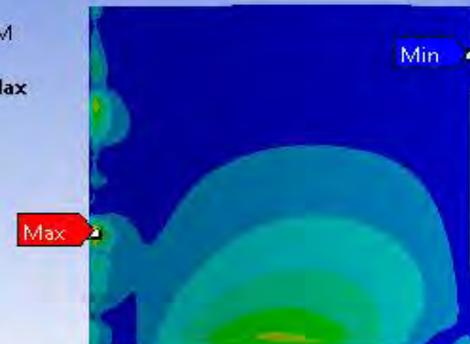
Equivalent Alternating Stress
Type: Equivalent Alternating Stress
Unit: Pa
Time: 0
4/22/2015 8:00 PM



input section antisurge dibelakang blade

B: Static Structural

Equivalent Alternating Stress
Type: Equivalent Alternating Stress
Unit: Pa
Time: 0
4/22/2015 9:31 PM

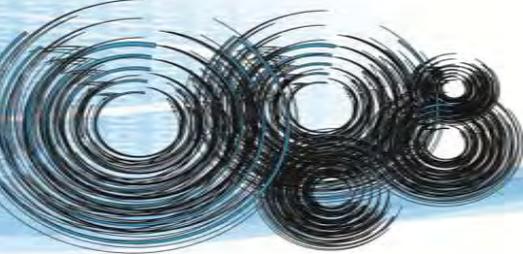


input	Di atas blade	Di belakang blde
	Maximum(Mpa)	Maximum (Mpa)
Input 30 bar, input section 70 bar	362	174



Analisa hasil kelelahan *blade* kompresor yang diakibatkan pressure input dari kontrol *antisurge* dari kompresor didasarkan pada kriteria-kriteria sebagai berikut:

1. Umur dinilai berdasarkan posisinya pada kurva S-N, dimana lebih kecil dari $1,1 \times 10^7$ umurnya terhingga sedangkan lebih besar atau sama dengan $1,1 \times 10^7$ umurnya tak terhingga.
2. Kerusakan akibat kelelahan dinilai berdasarkan rasio kerusakan, dimana rasio kerusakan lebih besar dari 1 menyebabkan struktur akan rusak sebelum umur desain tercapai sedangkan lebih kecil dari 1 umur desain tercapai (Browel Raymond dan Hancq,, Al. 2006) .
3. Aman sampai mencapai umur desain apabila faktor keamanan lebih besar dari 1 sedangkan lebih kecil dari 1 gagal sebelum mencapai umur desain (Browel Raymond dan Hancq, Al., 2006).
4. Tegangan alternating ekuivalen adalah merupakan beban yang menyebabkan struktur mengalami kegagalan akibat lelah atau tidak mengalami kegagalan akibat lelah



Tipe analisa kelelahan	Di atas blade	Di belakang blade
Umur minimum	Umur terhingga	Umur tak terhingga
Kerusakan maksimum	Sudah rusak sebelum Mencapai umur desain	Umur desain tercapai
Faktor keamanan minimum	Gagal sebelum mencapai umur desain	Aman sampai mencapai umur desain
Tegangan alternating Ekivalen Maksimum	362 Mpa	174 Mpa



KESIMPULAN DAN SARAN



Berdasarkan simulasi dan analisa data yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang dapat diambil dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Gaya *aerodinamika* yang di berikan dari *pressure* input *antisurge* tepat di atas *blade*, menyebabkan tegangan sebesar 364 Mpa, berada di bagian upcember di dekat penguci *blade*. Saat diberikan *antisurge* di belakang *blade* tegangan terbesar terjadi pada bagian belakang *blade* upchamber sebesar 173 Mpa.
2. Saat diberikan input anti surging di atas *blade*, *blade* mengalami kerusakan dan gagal sebelum mencapai umur desain, dimana umurnya adalah $2.315e6$ cycle. saat diberikan input anti surging di belakang *blade*, *blade* akan mencapai umur disain.



Berikut ini adalah saran yang diberikan peneliti untuk keberlanjutan penelitian yang dilakukan:

1. berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat diketahui bahwa *blade* mengalami kerusakan sebelum mencapai umur disain pada saat di berikan gaya *aerodinamika* tepat di atas *blade*, kelelahan ini mungkin akan menimbulkan crack awal yang nantinya akan menyebar yang mengakibatkan *blade* akan patah. Untuk itulah perlunya dilakukan penelitian mengenai letak keretakan dengan menggunakan mikroskop electron untuk memperediksi jenis keretakan, letak kereatakan dan laju perambatan keretakan pada *blade* kompresor
2. kelelahan material dapat di sebabkan banyak faktror antara lain tegangan berfluktuasi, regangan berflutuaksi, temperature berfluktuasi(fatik termal) atau kondisi lingkungan korosif atau temperature tinggi. Untuk itulah perlunya dilakukan analisa penyebab faktor kelelahan dari material selain dari gaya *aerodinamika* karena akumulasi dari beban yang diberikan dari material akan menyebabkan material lebih cepat rusak.
3. Dilakukan disain ulang mengenai kontrol *antisurge*, berdsarkan garis line *surge* dari kompresor, sehingga material dapat menahan baban *aerodinamika* yang diberikan atau mengganti jenis material yang lain yang kuat menahan dari beban yang diberikan.



Daftar Pustaka

1. Dowel, Earl H., Robert Clark, David Cox, H.C Curtiss, Edwards John JR, Keneth C Hall, David A. Peters, Robert Scanlan, Emil Simu, Fernando sisto dan Thomas Sisto. 2004. A Modern Course In Aeroelasticity. New York : Kluwer Academic Publishers
2. Raymond L. Bisplinghoff dan Holt Ashley. 1962 . Principles of Aeroelasticity. New York : Dover Publication, INC
3. Borello, Domenico, Kemal Hanjalic dan Franco Rispoli. 2007. Computation of tip-leakage flow in a linear compressor cascade with a second-moment turbulence closure international Journal of Heat and Fluid Flow
4. Mian, Haris Hameed, Gang Wang, Zeng-Yin Ye. Numerical investigation of structural geometric nonlinearity effect in high-aspect-ratio wing using CFD/CSD coupled approach. Journal of Fluid and Structures
5. Soulaïmani, Azzeddine, Zhengkung Feng, Amin Ben Haj Ali.2005. Solution techniques for multi-physics problems with application to computational Non linear eroelasticity. Nonlinier Analisis.



TERIMA KASIH

