

32301/H/08



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

RSPe
623.8207
hid
9-1
2007

TUGAS AKHIR - LK 1347

ANALISA PROBABILITAS KERUSAKAN PADA KONSTRUKSI LAMBUNG KAPAL KAYU DENGAN SISTEM PANTEK DAN SISTEM OVERLAPPING MENGUNAKAN DISTRIBUSI WEIBULL

SYARIF HIDAYAT
NRP. 4102 100 046

Dosen Pembimbing
Ir. Soewefy, M.Eng.

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2007

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	20 - 2 - 2008
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	220265

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PROBABILITAS KERUSAKAN PADA KONSTRUKSI LAMBUNG KAPAL KAYU DENGAN SISTEM PANTEK DAN SISTEM OVERLAPPING MENGUNAKAN DISTRIBUSI WEIBULL

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Bidang Studi Konstruksi dan Kekuatan
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

SYARIF HIDAYAT
Nrp. 4102 100 046

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Soeweify, M.Eng.



Surabaya, Juli 2007

PENGESAHAN REVISI

TUGAS AKHIR

Telah direvisi Sesuai Dengan Hasil Sidang Tugas Akhir

Tanggal 18 Juli 2007

Bidang Studi Konstruksi dan Kekuatan
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan Judul:

**ANALISA PROBABILITAS KERUSAKAN PADA
KONSTRUKSI LAMBUNG KAPAL KAYU DENGAN
SISTEM PANTEK DAN SISTEM OVERLAPPING
MENGUNAKAN DISTRIBUSI WEIBULL**

Oleh :

SYARIF HIDAYAT

Nrp. 4102 100 046

Disetujui oleh pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Soewefy, M.Eng.



Surabaya, Juli 2007

**ANALISA PROBABILITAS KERUSAKAN PADA
KONSTRUKSI LAMBUNG KAPAL KAYU DENGAN
SISTEM PANTEK DAN SISTEM OVERLAPPING
MENGUNAKAN DISTRIBUSI WEIBULL**

ABSTRAK

Oleh : Syarif Hidayat
Dosen pembimbing : Ir. Soeweify, M.Eng.

Dalam sistem konstruksi kapal kayu dikenal 2 sistem konstruksi yang biasanya digunakan pada lambung kapal kayu yaitu sistem konstruksi pantek dan sistem konstruksi overlapping. Beban yang terus menerus merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap berkurangnya kekuatan konstruksi lambung kapal kayu. Umur kelelahan konstruksi selalu menjadi perhatian serius dalam perancangan konstruksi. Hal tersebut berkaitan erat dengan cycle yang diijinkan dan diterima oleh konstruksi. Untuk memprediksi secara tepat beban maksimum maupun cycle yang diijinkan pada struktur dapat dilakukan dengan metode statistik. Metode statistik ini mengolah data hasil pengujian *fatigue* dengan hasil akhirnya berupa besarnya cycle pada tingkat keandalan tertentu dimana konstruksi tersebut masih layak dioperasikan.

Pada Tugas Akhir ini, metode statistik yang digunakan adalah distribusi Weibull. Dimana distribusi ini digunakan untuk menganalisa umur kelelahan struktur data pengujian *fatigue* pada kedua sistem konstruksi tersebut dan membandingkan hasil dari analisa yang didapat pada kedua sistem konstruksi tersebut.

Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa untuk sistem konstruksi pantek harga *fatigue* life lebih kecil dibandingkan dengan sistem konstruksi overlapping yaitu asumsi kerusakan saat $R_n = 0,1$ untuk sistem pantek didapat 264239 cycle sedangkan untuk sistem overlapping sebesar 957211 cycle. Dan pada sistem overlapping saat laju kegagalan (λ) = $5E-06$ harga cycle-nya yang didapat lebih besar dari sistem pantek.

Kata Kunci : *fatigue*, keandalan dan distribusi Weibull

**ANALISA OF DAMAGE PROBABILITY
AT WOODEN SHIP HULL CONSTRUCTION
WITH PANTEK SYTEM AND OVERLAPPING SYSTEM
USING WEIBULL DISTRIBUTION**

By : Syarif Hidayat
Lecture : Ir. Soeweify, M.Eng.

In construction system at wooden ship known 2(two) construction system which usually used at wooden ship hull as pantek construction system and overlapping construction system. Load which repeatedly one of factor having an effect to decreasing hull construction strength wooden ship hull construction. The structure of fatigue life always be serious notice in construction design. This case relating to allowed cycle and was accepted by construction To predict in an appropriate both of maximum load or allowed cycle in structure can be done with statistic method. This method calculation result data of fatigue test with final result is cycle number on specific level of reliability, which the construction can be operated suitably.

In this final project, the statistic method that used are weibull distribustion. Which this distributon is used to analyzing fatigue life of structure , the data came from fatigue test at bth of construction system and comparing result data from got analysis at bth of construction system.

As calculation result got that for pantek construction system had smaller result of fatigue life compared to overlapping construction system example asumption of damage at $R_n = 0,1$ for pantek construction system got 264239 cycle while for overlapping construction system 957211 cycle and acceleration to failure of overlapping constructn system at $\lambda = 5E-06$ got cycle bigger than pantek system.

Keywords: fatigue, reliability and weibull distribution

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbil 'alamin, segala puja dan puji saya panjatkan kepada Allah SWT, Tuhan seru sekalian alam. Atas Ridho dan seluruh pertolongan-NYA kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini, yang tanpa Ridho dan pertolongan-NYA penulis tak mampu berbuat apa-apa. Sungguh Dia Maha Besar, Maha Segalanya, Kasih dan Sayangnya yang tak terkira serta nikmat dari-NYA yang tak terhitung, hingga apabila lautan menjadi tinta dan pohon-pohon menjadi pena untuk menulis nikmat-NYA niscaya lautan itu akan kering dan habis sebelum nikmat itu selesai dituliskan. Terima kasih Yaa Rabb, atas anugerahmu, hambamu dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul :

ANALISA PROBABILITAS KERUSAKAN PADA KONSTRUKSI LAMBUNG KAPAL KAYU DENGAN SISTEM PANTEK DAN SISTEM OVERLAPPING MENGUNAKAN DISTRIBUSI WEIBULL

Shalawat dan Salam tercurah kepada junjungan kita Nabi Besar Muhammad SAW. Salamku untukmu panutanku, salam dari manusia penuh dosa ini, untukmu Nabiyullah dan Rasulullah, semoga kelak di akhirat syafaatmu dapat menyertaiku.

Penulis telah mengerahkan segala daya dan upaya demi tersusunnya Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya. Dalam penulisan Tugas Akhir ini penulis menyadari tentunya masih banyak kekurangan dan kelemahan karena kesempurnaan hanyalah milik Allah SWT, tetapi penulis berharap semoga apa yang penulis berikan dalam Tugas Akhir ini dapat menjadi sumbangan bagi Jurusan Teknik Perkapalan khususnya dan Ilmu Pengetahuan pada umumnya.

Amin.....

UCAPAN TERIMAKASIH

Alhamdulillah, segala puji hanya milik Allah Azza Wa Jalla, Rabb seluruh alam. Dengan segala pertolongan dan hidayah-Mu yaa Allah, hamba-Mu ini dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tanpa Engkau yaa Rabb, hamba-Mu ini takkan mampu berbuat apa-apa, terima kasih yaa Rabb atas segalanya. Shalawat dan salam pasti tercurah pada Rasul utusan-Mu, pembawa risalah-risalah-Mu dan manusia yang Engkau ciptakan sempurna akhlaknya, yaitu Muhammad Rasulullah, al-amin, semoga aku dapat benar-benar menjadi pengikutmu yaa Rasulullah. Amin.

Serta hanya dengan bantuan dari segenap pihak maka Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Atas segala yang telah penulis dapatkan maka dengan segala kerendahan hati dan setulus-tulusnya penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Nenek tercinta, pa'cik di rumah Bapak dan ibu tercinta, pemberi motivasi, kasih sayang, arti dan makna hidup, serta didikan dan do'a selama ini untuk ananda. Semoga ALLAH selalu melimpahkan pahala yang sebesar-besarnya dan mengizinkan ananda untuk berbakti
2. Buat adekku, Maksu dan keponakanku, kalian semua adalah pemberi semangat dan harapan pada saya, terima kasih atas do'a dan dukungan materiilnya.
3. Bapak Ir. Soewefy, M Eng. Selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang selau memberi arahan, bimbingan dan semangat dalam menyelesaikannya.
4. Bapak Ir.R. Syarief Widjaja, selaku dosen wali selama saya kuliah disini.
5. Bapak Ir. Triwilaswandio, M.Sc dan Ir. Wasis Dwi Aryawan, MSc, PhD selaku ketua dan sekretaris jurusan Teknik Perkapalan.
6. Seluruh Dosen Teknik perkapalan, yang menelurkan ilmunya untuk penulis.
7. Staff sekretariat jurusan perkapalan terima kasih atas segala bantuannya
8. Angkatan 2002 semuanya tanpa terkecuali, semoga kita jadi kesatuan yang tak terpisahkan.
9. Abi,qodir makasih buat curhatnya dan masukannya, Ferik makasih buat ketikannya.
10. Mbong,Kriwoel,Gustu,Tito,Ucup dan Doni makasih buat komputer, printer,scanner dan kamarnya yang gua pake selama liburan ni.
11. Anak-anak kost-an semuanya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
12. Semua warga perkapalan, penulis tak bisa *survive* di perkapalan jika tanpa kalian.
13. Semua penghuni labkom perkapalan yang sama-sama berjuang dalam tugas akhir ini, tetap semangat jalan masih panjang TEMAN.
14. Semua pihak yang mungkin tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Surabaya, Juli 2007

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERMASALAHAN	2
1.3 BATASAN MASALAH	2
1.4 TUJUAN.....	2
1.5 MANFAAT	2
1.6 HIPOTHESIS	2
1.7 METODOLOGI	3
1.8 SISTEMATIKA LAPORAN	3
1.9 SPESIMEN UJI	4
BAB II DASAR TEORI.....	6
2.1 Tinjauan Umum	6
2.1.1 Sifat Kayu	6
2.1.2 Cara Menggolongkan Jenis Kayu	8
2.1.3 Anggapan-anggapan Dalam Konstruksi Kayu	9
2.1.4 Penggunaan Kayu Menurut BKI	10
2.1.5 Menurut Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia	10
2.2 KONSTRUKSI KAPAL KAYU	11
2.2.1 Kayu sebagai Bahan Utama Pembuatan Kapal Kayu.....	12
2.2.2 Konstruksi Lambung Kapal Kayu	12
2.2.3 Konstruksi Lambung Sistem Overlapping.....	13
2.2.4 Konstruksi Lambung Sistem Pantek.....	15
2.3 KELELAHAN PADA KAYU	17
2.4 BEBAN PADA KONSTRUKSI KAPAL KAYU.....	20
2.4.1 Konsep Pembebanan Statis dan Dinamis.....	20
2.5 PENGERTIAN DASAR FATIGUE.....	24
2.6 DISTRIBUSI WEIBULL	25
BAB III PROBABILITAS KERUSAKAN DENGAN MENGGUNAKAN DISTRIBUSI WEIBULL	28
3.1 KONSEP KETIDAKPASTIAN	28
3.2 KONSEP ANALISA PELUANG KEANDALAN.....	29
3.3 ANALISA STATISTIK UNTUK DATA FATIGUE.....	33
3.3.1 Distribusi Normal	34
3.3.2 Distribusi Log - Normal.....	35
3.3.3 Distribusi Exponensial	35
3.3.4 Distribusi Weibull.....	36
3.3.5 Hubungan P - S - N.....	37

3.4	TEORI PROBABILITAS WEIBULL	38
3.5	PENGARUH PARAMETER TERHADAP DISTRIBUSI	40
3.5.1	Parameter Bentuk (α)	40
3.5.2	Parameter Skala (β)	44
3.5.3	Parameter Lokasi (γ)	45
3.6	PROSEDUR PERHITUNGAN PARAMETER WEIBULL	46
3.7	PROSEDUR PERHITUNGAN KEANDALAN WEIBULL	48
BAB IV	ANALISA DAN PEMBAHASAN	50
4.1	ANALISA DATA	50
4.2	PERHITUNGAN PARAMETER WEIBULL	53
4.2.1	Metode Distribusi Weibull pada Sistem Overlapping	53
4.2.2	Metode Distribusi Weibull pada Sistem Pantek	56
4.3	PERHITUNGAN KEANDALAN WEIBULL	58
4.3.1	Sistem Overlapping	59
4.3.2	Sistem Pantek	59
4.4	GRAFIK KEANDALAN DAN PROBABILITAS	60
4.5	PERBANDINGAN HASIL DATA	62
BAB V	PENUTUP	64
5.1	kesimpulan	64
5.2	saran	64
DAFTAR PUSTAKA		
 LAMPIRAN		



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sistem Konstruksi Overlapping.....	1
Gambar 2.2	Sistem Konstruksi pantek	15
Gambar 2.3	Konstruksi lambung Sistem Pantek	16
Gambar 2.4	Pasak Kayu.	16
Gambar 2.5	Diagram S-N secara umum material	18
Gambar 2.6	Macam bentuk ratio pembebanan.....	18
Gambar 2.7	Macam bentuk diagram S-N.....	19
Gambar 2.8	Pembebanan sinusoidal.....	21
Gambar 2.9	Pembebanan segitiga.....	22
Gambar 2.10	Pembebanan segiempat	22
Gambar 2.11	Pembebanan gergaji positif	23
Gambar 2.12	Pembebanan gergaji negatif	23
Gambar 2.13	Pembebanan diatas sumbu nol	24
Gambar 2.14	Pembebanan melewati sumbu nol	24
Gambar 2.15	Pembebanan dibawah sumbu nol	24
Gambar 3.1	PDF untuk beban (Q), kekuatan (R) dan batas keamanan (PQ).....	31
Gambar 3.2	Fungsi Density Peluang Pembebanan (Q) dan kekuatan (R).....	31
Gambar 3.3	PDF dan CDF untuk distribusi normal.....	34
Gambar 3.4	PDF untuk distribusi log – normal	35
Gambar 3.5	PDF untuk distribusi eksponensial	36
Gambar 3.6	PDF untuk distribusi Weibull	37
Gambar 3.7	Distribusi peluang untuk data S-N	37
Gambar 3.8	Pengaruh parameter bentuk pada PDF	41
Gambar 3.9	Pengaruh α terhadap cdf pada kurva probabilitas weibull dengan nilai β tetap.....	42
Gambar 3.10	Pengaruh nilai parameter bentuk pada kurva keandalan	42
Gambar 3.11	Pengaruh parameter bentuk pada fungsi laju kegagalan Weibull.....	43
Gambar 3.12	Pengaruh nilai parameter skala pada pdf Weibull.....	44
Gambar 3.13	Pengaruh nilai parameter lokasi PDF Weibull.....	45
Gambar 3.14	Diagram Alir analisa Probabilitas dengan distribusi Weibull.....	47
Gambar 3.15	Aliran Perhitungan Keandalan Weibull.....	49
Gambar 4.1	Grafik Diagram S-N.....	51
Gambar 4.2	Grafik Diagram S-N (log).....	52
Gambar 4.3	kurva PDF.....	60
Gambar 4.4	Kurva Keandalan N-Rn.....	61
Gambar 4.5	Kurva Probabilitas N- λ	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Daya penghantar panas berbagai macam bahan	7
Tabel 2.2	Perubahan bentuk kayu jati dengan kadar lengas berbeda.....	7
Tabel 2.3	Jenis Konstruksi dan Kadar lengas	8
Tabel 2.4	Kelas Awet Kayu (<i>BKI Peraturan Kapal Kayu</i>).....	10
Tabel 2.5	Kelas Kuat Kayu (<i>BKI Peraturan Kapal Kayu</i>).....	10
Tabel 2.6	Perbandingan Material	12
Tabel 4.1	Beban Untuk Pengujian Fatigue (overlapping).....	50
Tabel 4.2	Tabel Hasil Pengujian Fatigue(overlapping).....	50
Tabel 4.3	Beban Untuk Pengujian Fatigue (pantek).....	51
Tabel 4.4	Tabel Hasil Pengujian Fatigue (pantek).....	51
Tabel 4.5	Harga Cycle yang didapat dari kedua sistem konstruksi	52
Tabel 4.6	Hasil sortir data	53
Tabel 4.7	Parameter dari kedua system konstruksi	59
Tabel 4.8	Hasil perhitungan (overlapping).....	59
Tabel 4.9	Hasil perhitungan (Pantek).....	59

LAMPIRAN

Daftar kayu

List program Weibull

List OutPut Hasil Run Program

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Dalam sistem konstruksi pada kapal kayu khususnya bagian lambung ada 2 (dua) sistem yang dikenal yaitu sistem pantek dan sistem overlapping. Hal ini juga banyak dijumpai pada pembuatan kapal kayu di galangan Indonesia. Kedua sistem memiliki kelebihan dan kelemahan misalnya untuk sistem pantek memiliki kelebihan tahanan yang dihasilkan relatif lebih kecil dikarenakan permukaan lambung yang dihasilkan halus adapun kelemahannya waktu yang dibutuhkan untuk mengerjakannya lama (Trefethen,1993). Perkembangan teknologi dalam pengerjaan konstruksi kapal juga berdampak pada pengerjaan konstruksi kapal kayu. Teknologi canggih juga berdampak pada bertambahnya permintaan dalam hal jaminan pengoperasian bebas kegagalan (*failure-free operation*) beragam komponen dan sistem dalam batas kinerja tertentu dan waktu tertentu. Hal ini berkaitan dengan konsep keandalan (*reliability*). Keandalan erat kaitannya dengan peluang (*probability*). Dalam aktualisasinya konsep keandalan lebih banyak menjelaskan tentang peluang kegagalan dari sebuah sistem, bahkan sering digunakan sebagai prosedur desain pengendalian kegagalan. Agar supaya pemeliharaan suatu tingkat integritas struktur dapat diterima dalam struktur modern dan komponen yang besar, maka subjek perhatian pada kondisi layanan permintaan desain dan rekayasa sistem yang menunjukkan suatu perhatian yang lebih pada proses yang merusak dan cara mengatasi terjadinya kegagalan mekanik (Provan,1987). Sayangnya kesulitan pengukuran menjadi masalah utama ketika dilakukan pengujian masa pengoperasian untuk memperkirakan parameter desain. Padahal pengujian begitu mahal atau tidak sederhana pekerjaannya yang mana perencanaannya mengandalkan data dari komponen pengujian laboratorium dan material uji yang relatif sederhana.

Ada banyak beban yang bekerja pada seluruh konstruksi kapal kayu diantaranya beban dinamis dan statis oleh karena itu dalam pengoperasiannya akan timbul masalah seperti deformasi, kebocoran dan lain-lain. Beban dinamis adalah beban yang bekerja berubah terhadap waktu karena itu beban dinamis didekatkan dengan teori kelelahan (*fatigue*). Beban-beban gelombang merupakan beban dinamis tapi frekuensinya rendah di dibandingkan dengan frekuensi natural konstruksi itu sendiri sehingga sering diperhitungkan sebagai beban statis atau gaya tekan ombak, pengecualian terjadi pada laut yang amat bergelombang. Beban dapat menimbulkan tegangan yang dapat menyebabkan kerusakan yang merupakan respon konstruksi dalam menahan beban, terutama dibagian lambung kapal. Semua menunjukkan bahwa proses kerusakan material secara alami mengikuti pola acak, akan lebih mudah ditentukan dengan pendekatan analisa peluang (probabilitas) daripada pendekatan penentuan sekelompok masalah dengan menggunakan material yang lebih modern dalam desain rekayasa. Untuk mengetahui perbandingan kekuatan konstruksi tersebut dalam menahan beban dinamis kemudian memperkirakan pada cycle (N) berapa konstruksi ini akan mengalami kegagalan. Probabilitas kegagalan dianggap sebagai ukuran keamanan dari konstruksi tersebut. Dengan menggunakan data hasil pengujian fatigue (*sistem pantek,fitriyah,06. sistem overlapping adi surahman,06*) dari kedua sistem konstruksi tersebut untuk mencari probabilitas (peluang) terjadinya kerusakan dengan menggunakan Metode Statistika yaitu Distribusi Weibull dan membandingkan peluang patahnya dari kedua sistem konstruksi tersebut. Weibull merupakan salah satu pendekatan yang digunakan untuk menentukan kegagalan mekanik ini. Fungsi weibull menggambarkan sifat peluang kekuatan patah meterial. Fungsi weibull sering kali digunakan dalam menentukan waktu kegagalan suatu model dan sering kali hasil yang didapat sangat memuaskan seperti yang dicapai

oleh *leiblein dan zelen 1956, kao 1956 dan perry 1962* secara berturut-turut mengenai *ball bearing*, tabung electron dan transistor. Beberapa pendektan rekayasa lain mengikuti langkah weibull dan mengusulkan model statistik bahwa ada laju yang konstan dalam ukuran dan tingkat kerumitannya.

Untuk lebih mendapatkan hasil yang optimum dengan waktu yang relatif singkat akan dilakukan pembuatan program dengan bahasa pemrograman visual basic untuk menampilkan hasil input data percobaan fatigue yang telah dilakukan berupa cycle beban dimana konstruksi tersebut diperkirakan mengalami kerusakan (kegagalan).

1.2 PERMASALAHAN

Permasalahan yang sering timbul adalah kerusakan yang terjadi pada bagian lambung kapal kayu dimana karena pengaruh pembebanan. Yang mana beban yang terjadi adalah beban dinamis yang berhubungan dengan teori kelelahan bahan (*fatigue*). Untuk mengetahui seberapa besar konstruksi mampu bertahan untuk itu dilakukan dengan metode probabilitas. Dengan metode statistika yaitu Distribusi Weibull dipakai untuk mendapatkan probabilitas (peluang) kerusakan dari kedua sistem.

1.3 BATASAN MASALAH

Dalam penulisan tugas akhir ini dibuat batasan masalah sebagai berikut:

- Bahan atau material yang dipakai untuk gading dan kulit luar adalah kayu kamper.
- Bahan atau material yang dipakai sebagai penyambung antar kulit dan gading menggunakan sekrup dan untuk penyambung antar kulit dan gading pada sistem pantek menggunakan kayu pong sebagai pasak.
- Analisa peluang dengan distribusi Weibull yang ditulis dalam bahasa pemrograman visual basic.
- Spesimen dianggap sebagai satu-kesatuan konstruksi.
- Metode statistika yang digunakan adalah Distribusi Weibull

1.4 TUJUAN

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan probabilitas (peluang) kerusakan dari sistem pantek dan sistem overlapping dengan menggunakan Distribusi Weibull dan menentukan pada cycle berapa konstruksi tersebut akan mengalami kerusakan kemudian membandingkan peluang kekuatan patah dari 2 konstruksi diatas.

1.5 MANFAAT

Manfaat yang dapat diperoleh dari tugas akhir ini adalah Berdasarkan kajian yang dilakukan diharapkan dapat diperoleh petunjuk tentang keandalan konstruksi lambung kapal kayu dengan sistem pantek dan sistem overlapping dalam periode tertentu selama masa pengoperasiannya. Sebagai data masukan untuk bahan pertimbangan dalam mendesain konstruksi tersebut. Pemrograman yang dibuat dapat digunakan untuk mendapatkan hasil yang optimum dengan waktu yang relatif singkat.

1.6 HIPOTESIS

Tugas akhir ini akan mendapatkan probabilitas (peluang) yaitu: fungsi densitas peluang (PDF), laju kegagalan dan Mean time to failure (MTTF) dari dua sistem konstruksi tersebut dengan

menggunakan Distribusi Weibull, pada cycle berapa kedua konstruksi tersebut akan mengalami kerusakan (*failed*) dan membandingkan kekuatan dari sistem konstruksi pantek dan sistem konstruksi overlapping berdasarkan perhitungan dengan Distribusi Weibull.

1.7 METODOLOGI

- Identifikasi masalah
Tahap ini merupakan tahap awal dari pengerjaan tugas akhir, yaitu dengan menetapkan tujuan penelitian serta perumusan masalah dari apa yang akan dikerjakan.
- Studi Literatur
Studi literatur mengenai distribusi weibull dan fungsi statistik yang terkait serta studi mengenai konstruksi kapal kayu.
- Pengambilan data
Pengambilan data hasil pengujian fatigue untuk digunakan dalam analisa distribusi weibull.
- Pengolahan data
analisa data dilakukan dengan memasukkan data pengujian kedalam persamaan fungsi distribusi weibull
- Pengambilan kesimpulan
Menarik kesimpulan berdasarkan hasil yang diperoleh dari analisa

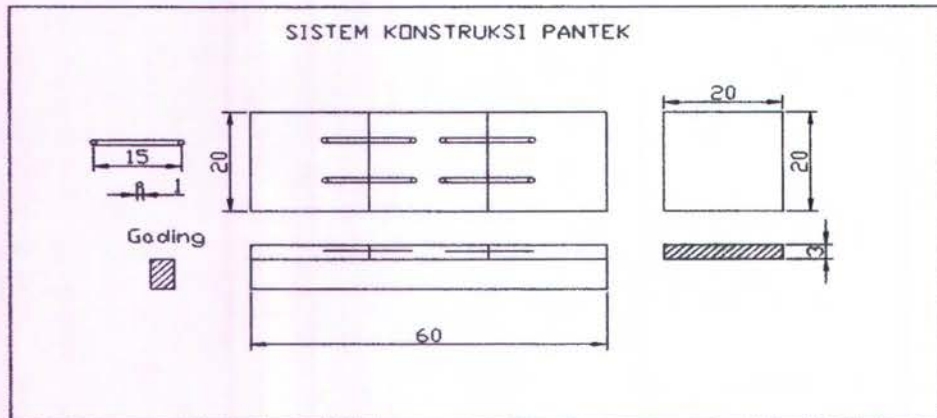
1.8 SISTEMATIKA LAPORAN

Sistematika pembahasan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

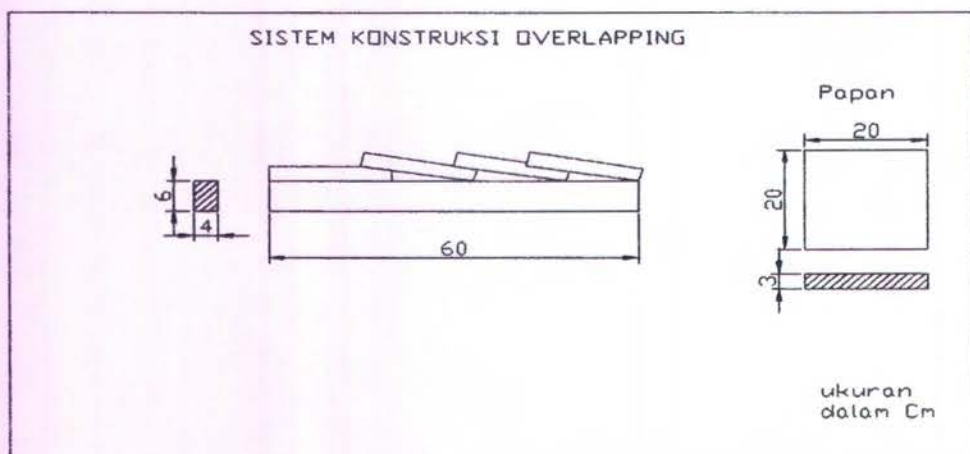
- BAB I PENDAHULUAN**
Bab ini mencakup latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan masalah, metodologi dan sistematika laporan tugas akhir.
- BAB II DASAR TEORI**
Bab ini berisi tentang teori dari sistem konstruksi yaitu sistem pantek dan sistem overlapping
- BAB III PROBABILITAS KERUSAKAN DENGAN MENGGUNAKAN TEORI WEIBULL**
Bab ini akan dibahas tentang teori probabilitas dan Metode ststistika yang digunakan yaitu Distribusi Weibull..
- BAB IV ANALISA PROBABILITAS KERUSAKAN KONSTRUKSI LAMBUNG KAPAL KAYU SISTEM PANTEK DAN SISTEM OVERLAPPING**
Bab ini mencakup tentang hasil yang didapat dari perhitungan yang dilakukan dan analisa data dari hasil perhitungan tersebut.
- BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**
Bab ini merupakan penutup yang berisi kesimpulan dan saran dari tugas akhir ini.

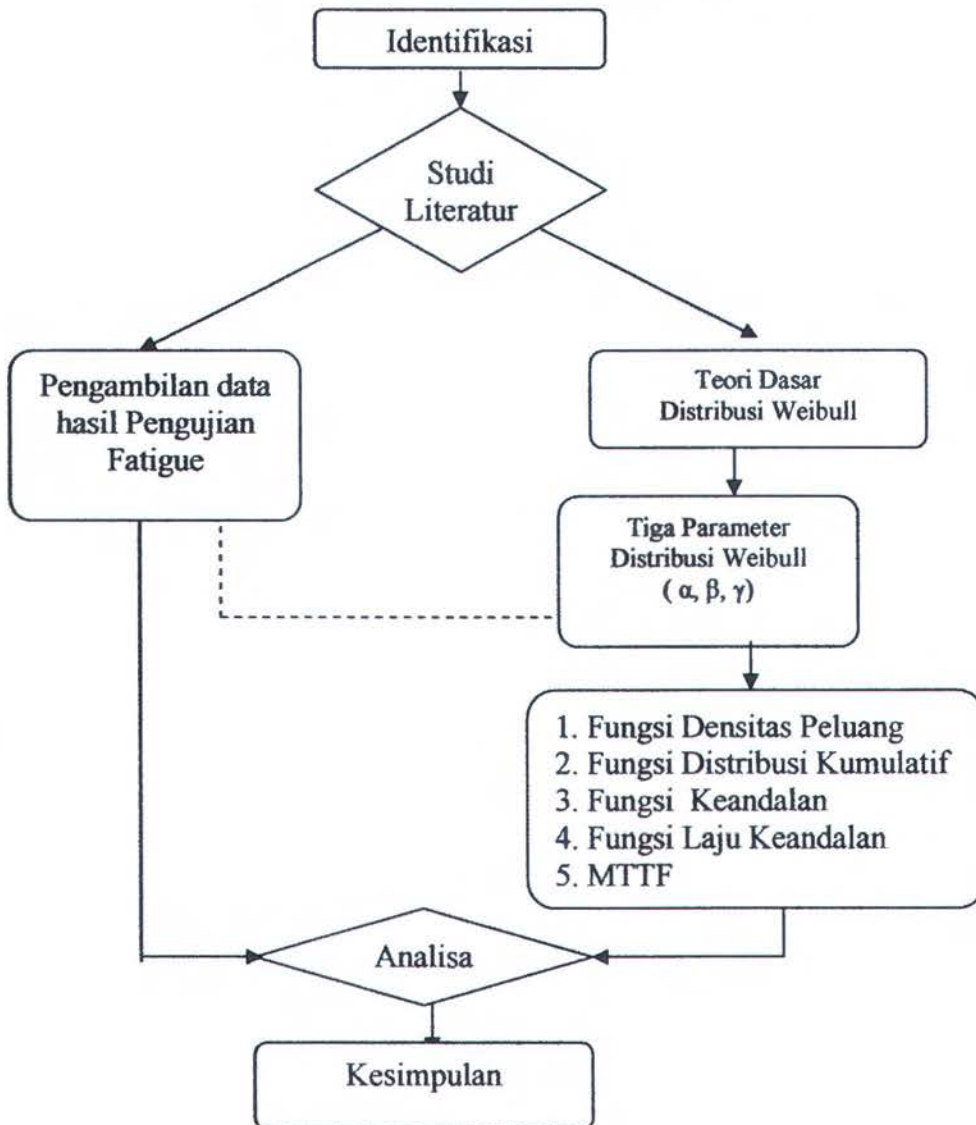
1.9 SPESIMEN UJI

Untuk sistem konstruksi pantek dibuat 7 spesimen yaitu 3 spesimen di uji bending untuk mendapatkan beban maksimum dari konstruksi dan 4 buah spesimen di uji fatigue untuk memperoleh angka cycle atau memprediksi umur konstruksi dengan beban yang bervariasi 30%-80% dari beban maksimum sampai rusak.



Untuk sistem konstruksi overlapping dibuat 9 spesimen yaitu 4 spesimen di uji bending untuk mendapatkan beban maksimum dari konstruksi, 30%-80% dari beban maksimum digunakan untuk pengujian fatigue dengan beban yang bervariasi, 5 spesimen dibuat untuk pengujian fatigue ini.



Flowchart Metodologi Penelitian dan Analisa Data

BAB II

DASAR TEORI

2.1 TINJAUAN UMUM

Kayu merupakan salah satu bahan konstruksi pertama yang digunakan. Konstruksi kayu berkembang awal abad 20 di Jerman. Di Eropa dan Amerika pemakaian struktur dari kayu berkembang sangat pesat. Teknik penggunaan kayu sebagai bahan konstruksi didasarkan pada pengalaman dan intuisi. Sekarang ilmu teknik konstruksi kayu telah berkembang dan masih terus mengalami transisi dari suatu bidang pengetahuan pertukangan kayu tradisional kesuatu ilmu pengetahuan berdasarkan perhitungan matematis yang sudah digunakan pada konstruksi-konstruksi baja dan beton.(Yap,1999). Kayu merupakan bahan yang mudah didapat di alam. Ilmu pengetahuan tentang konstruksi memperlengkap kita tentang suatu konstruksi yang baik dan efisien. Indonesia merupakan negara yang kaya akan kayu baik kualitas maupun jenisnya. Dengan meningkatnya kebutuhan akan kayu maka harganya pun semakin meningkat, dengan pengetahuan tentang dasar-dasar bangunan kayu dan sifat-sifatnya maka penggunaannya dapat dihemat. Faktor aman dari kayu ± 10 dapat diperkecil menjadi 5.5 sampai 8 asalkan teknik penyambungan dapat disempurnakan (Wiryomartono,1997).

Sekitar 90% dari semua kerusakan yang terjadi pada bagian benda atau struktur dalam menjalankan fungsinya disebabkan oleh kelelahan bahan atau fatigue. Fatigue adalah kerusakan yang terjadi pada struktur yang mendapat beban berulang-ulang (*repeated load*).kekuatan bahan dalam menahan kelelahan berkurang dengan sangat berarti apabila ada sebuah bagian yang merupakan tempat terkumpulnya tegangan (ImarE,2003).

2.1.1 Sifat Kayu

2.1.1.1 Kayu sebagai bahan konstruksi mempunyai sifat menguntungkan dan merugikan.

Sifat untungnya sebagai berikut:

- Mempunyai kekuatan yang tinggi dan berat yang ringan
- Mudah dikerjakan tanpa alat-alat berat khusus misalnya mudah dipotong, diganti,dihaluskan atau disambungkan sebagai suatu konstruksi.
- Harga relatif murah dan mudah diperoleh.
- Dapat juga dipakai sebagai interior kapal seperti meja-kursi,almari dan sebagainya.

Sifat merugikan sebagai berikut:

- Mudah terbakar
- Kekuatan dan keawetan dari kayu tergantung dari jenis dan umur pohonnya, sedangkan kayu yang ada diperdagangkan sulit ditaksir umur.
- Dapat berubah bentuk memuai atau menyusut walaupun masih tetap elastis.
- Disebabkan adanya cacat-kayu seoerti adanya mata-kayu,arah serat yang tidak lurus dapat menyebabkan kekuatan kayu tidak seragam.

Dengan mengetahui sifat dari kayu maka hal ini dibutuhkan untuk analisa perhitungan dalam ilmu konstruksi sehingga dalam perhitungan perencanaan perlunya pengeringan,penggunaan teknik pengawetan dan sebagainya. (Puspantoro,1992)

2.1.1.2 3 Macam Sifat Kayu :

- ✓ Sifat Phisik
- ✓ Sifat hygroscoapis
- ✓ Sifat Mechanis

✓ Sifat Fisik

• Pengaruh Kadar Lengas

Berat dari suatu batang kayu sangat dipengaruhi oleh kadar lengas dari bahan kayu dan kadar lengas kayu dapat dihitung dengan rumus:

$$X = \frac{1.5G_x - G_{ku}}{G_{ku}} \times 100\%$$

Dimana:

X = kadar lengas kayu %

G_x = Berat benda uji kayu

G_{ku} = Berat benda uji kayu kering udara (kadar lengas 15%)

• Sifat Penghantar Panas

Kayu adalah bahan yang porous artinya batang kayu banyak mengandung pori-pori rongga udara yang tidak bisa bergerak, sehingga baik sekali dipakai untuk bahan penyekat.

Tabel 2.1. Daya penghantar panas berbagai macam bahan

No	Bahan	K(daya hantar panas)
1	Bata Merah	0.35
2	Beton	0.56
3	Kayu sejajar serat	0.10
4	Kayu Tegak Lurus Serat	0.03
5	Seng	40

• Sifat Penghantar Listrik

Pada umumnya kayu adalah mempunyai sifat penghantar listrik yang jelek dan daya hantar listrik tidak tergantung pada jenis kayu atau kerapatan kayu tetapi dipengaruhi oleh kadar lengas kayu. Bila kadar lengas kayu tinggi maka kayu tersebut mempunyai daya hantar listrik yang baik dan demikian pula sebaliknya.

✓ Sifat Hydroskopis kayu

• Kembang Susut Kayu

Kayu akan mengembang bila kadar lengasnya bertambah dan menyusut bila kadar lengasnya berkurang. Sifat kembang susut suatu jenis kayu dalam ke-3 arahnya (arah axial, arah tangensial dan arah radial) tidak sama dan dipengaruhi oleh derajat panas serta kerapatan kayu (density).

Tabel 2.2 perubahan bentuk kayu jati dengan kadar lengas berbeda

No	Arah	Kadar Lengas		
		2.7%	7%	21.7%
1	Axial	0.14	0.14	0.29
2	Tangensial	0.74	2.6	6.30
3	Radial	0.56	2.50	3.10
4	Volumetric	1.44	4.50	9.90

• Pengaruh Kadar Lengas

Bahan kayu adalah merupakan bahan yang peka sekali terhadap kadar lengas dan tidak begitu peka terhadap derajat panas. Akibat kadar lengas

makamenyebabkan kayu dapat mengembang dan menyusut dan hal ini akan berpengaruh terhadap sifat phisik dan mekanik kayu.

Tabel.2.3 Jenis Konstruksi dan Kadar lengas

No	Jenis Konstruksi	Kadar Lengas
1	Konstruksi Jembatan	18%
2	Konstruksi Kuda-Kuda	16%
3	Perkakas rumah,lemari	12%
4	Radio,Televisi	6%

✓ Sifat Mechanis

Faktor yang mempengaruhi sifat-sifat mekanik bahan kayu adalah:

- Berat Jenis
- Kadar Lengas
- Mata Kayu
- Retak-retak
- Kemiringan arah serat
- Pengawetan

Banyak penyelidikan yang telah dilakukan untuk mengetahui hubungan (korelasi) antara faktor-faktor dan sifat-sifat mekanis dan hal ini penting untuk mengetahui tegangan yang diijinkan (*working stress*)

2.1.2 Cara menggolongkan Jenis Kayu

Untuk keperluan pembuatan kapal kayu-kayu yang digunakan dinilai menurut keawetannya,kekuatannya,mutu kayu kemudian ditentukan tingkat pemakaiannya.

Untuk menentukan kegunaan suatu jenis kayu agar dapat dipakai sebagai bahan bangunan,maka faktor-faktor sebagai berikut penting untuk diketahui yaitu:

- ✓ Kekuatannya
- ✓ Sifat elastisitasnya
- ✓ Keawetannya
- ✓ Penyusutannya dan Pemuaiannya
- ✓ Keretakannya
- ✓ Derajat pengerjaann
- ✓ Berat jenisnya

- Tingkat Keawetan

Yang menentukan tingkat keawetan konstruksi kapal kayu adalah:

- a. Selalu berhubungan dengan air.
- b. Dipengaruhi dengan cuaca dan angin tapi terlindungi dan terendam.
- c. Dibawah atap tapi tidak berhubungan dengan air.
- d. Dibawah atap tidak berhubungan dengan air tapi sangat terpelihara misalnya selalu dicat.
- e. Kerusakan oleh tiram dan binatang laut lainnya dan akan tahan lama bila di cat.

- Tingkat Kekuatan

Yang menentukan kekuatan konstruksi kapal kayu adalah:

- a. Berat Jenis.
- b. Kekuatan melengkung absolut dalam kg/cm^2
- c. Kekuatan tekan absolut dalam kg/cm^2
- d. Modulus Kenyal dalam kg/cm^2



- Tingkat pemakaian

Menyatakan kecakapan kayu untuk suatu macam konstruksi, pada konstruksi kapal kayu tingkat pemakaian sesuai dengan tingkat kekuatan kayu yaitu:

1. Klas I dan Klas II

Untuk konstruksi berat karena dipengaruhi oleh air, cuaca, angin (hal-hal yang merusak).

2. Klas III dan Klas IV

Berhubungan dengan konstruksi dibawah atap dan konstruksi ringan. (A.K. Budh, 1986)

2.1.3 Anggapan-Anggapan Dalam Konstruksi Kayu

Penilaian dan perbandingan teknis daripada kayu dengan bahan-bahan konstruksi lain dapat dicapai dengan meninjau satu demi satu anggapan yang biasa diambil dalam perhitungan konstruksi, yaitu:

- Untuk keperluan praktis, baja dianggap *homogen* artinya bagian-bagian dalam suatu benda baja mempunyai sifat-sifat fisis yang sama. Tetapi mikroskopis baja tidak homogen karena terdiri dari bermacam-macam kristal dengan sifat berlainan. Kayu yang terdiri dari serat-serat, tentunya tidak dapat disebut homogen seperti baja, namun dalam prakteknya kayu masih dapat dianggap bahan yang homogen tetapi cukup jelas bahwa adanya cacat-cacat seperti mata kayu perlu di perhatikan dan menyebabkan perbedaan dengan dasar-dasar perhitungan yang lazim.
- Seperti pada baja, hukum hooke berlaku untuk kayu sampai suatu batas yang dikenal sebagai batas *proporsional*, tetapi kayu tidak mempunyai batas leleh seperti baja. Bentuk diagram tegangan perubahan panjang untuk kayu menyamai diagram untuk bahan-bahan batu seperti beton. Untuk baja biasanya batas proporsionalnya mencapai 50% daripada tegangan patah. Untuk kayu, dari penelitian yang telah dilakukan ternyata bahwa pada pembebanan tekan, batas proporsional dicapai pada 75% dari tegangan patah, jadi ditinjau dari aspek ini kayu lebih menguntungkan.
- Pada pembebanan tekan biasanya kayu bersifat elastis sampai batas proporsional. Untuk keadaan tarikan belum ada keterangan-keterangan experimental, tetapi sudah diketahui bahwa terhadap tarikan . sifat-sifat elastisitas untuk kayu tergantung dari keadaan lengas: kayu kering memperlihatkan batas elastisitas yang agak rendah sedangkan dalam kayu yang kadar lengasnya tinggi terdapat perubahan bentuk yang permanen pada beban-beban yang kecil pun.
- Hipotesa bernoulli atau anggapan bahwa dalam balok terlentur tampang-tampang tetap rata mempermudah perhitungan balok terlentur tetapi sebenarnya penyelidikan-penyelidikan memperlihatkan penyimpangan dari linearitas itu.
- Didalam analisa tegangan-tegangan dan perubahan-perubahan bentuk akibat pembebanan luar pada suatu baja, bahan dianggap *isotropis*. Artinya baja mempunyai sifat-sifat elastis yang sama dalam semua arah. Kayu bukan suatu bahan isotropis, sifat-sifatnya tergantung dari arah gaya terhadap arah serat-serat dan cincin-cincin pertumbuhan tetapi untuk keperluan-keperluan praktis kayu dianggap *orthotropis* artinya mempunyai tiga bidang simetris elastis yang tegak lurus satu pada yang lain yaitu longitudinal, tangensial dan radial dimana sumbu longitudinal adalah sejajar serat-serat, sumbu tangensial adalah garis-garis singgung cincin-cincin pertumbuhan dan sumbu radial adalah tegak lurus pada cincin-cincin pertumbuhan (Felix, 1999)

2.1.4 Penggunaan Kayu Menurut BKI peraturan Kapal Kayu

BKI mengisyaratkan penggunaan kayu untuk konstruksi kapal kayu harus memenuhi persyaratan kelas kuat dan kelas awetnya. BKI membagi kelas kuat dan awet dalam lima bagian seperti berikut:

Tabel 2.4 Kelas Awet Kayu (*BKI Peraturan Kapal Kayu*)

	Kelas Awet	I	II	III	IV	V
a	Selalu berhubungan dengan tanah lembab	8 tahun	5 tahun	3 tahun	Sangat pendek	Sangat pendek
b	Hanya terbuka terhadap angin dan iklim tetapi dilindungi terhadap pemasukan air dan kelelasan	20 tahun	15 tahun	10 tahun	Beberapa tahun	Sangat pendek
c	Dibawah atap tidak berhub. dengan tanah lembab dan dilindungi terhadap kelelasan	Tak terbata s	Tak terbata s	Sangat lama	Beberapa tahun	Pendek
d	Seperti pada c tetapi di peliharayang baik selalu dicat	Tak terbata s	Tak terbata s	Taka terbata s	20 tahun	20 tahun
e	Serangan oleh rayap	Tidak	Jarang	Agak cepat	Sangat cepat	Sangat cepat
f	Serangan oleh bubuk kayu kering	Tidak	Tidak	Hampir tidak	Tak seberapa	Sangat cepat

Tabel 2.5 Kelas Kuat Kayu (*BKI Peraturan Kapal Kayu*)

Kelas Kuat	Berat jenis kering	Kukuh lentur mutlak(kg/cm ²)	Kukuh tekanan mutlak(kg/cm ²)
I	≥ 0.9	≥ 1100	≥ 650
II	0.9-0.6	1100-725	650-425
III	0.6-0.4	725-500	425-300
IV	0.4-0.3	500-360	300-215
V	≤ 0.3	≤ 360	≤ 215

Secara umum penggunaannya dalam konstruksi adalah sebagai berikut (*I.Ketut Dunia, 1985*)

1. Kelas I dan II

Digunakan untuk keperluan konstruksi berat yang selalu terkena pengaruh-pengaruh buruk seperti terus-menerus berada dalam tanah yang basah atau terkena panas matahari hujan dan angin.

2. Kelas III

Digunakan untuk keperluan konstruksi berat yang terlindung misalnya yang berada di bawah atap dan berada tidak berhubungan dengan tanah basah.

3. Kelas IV

Digunakan untuk keperluan konstruksi ringan yang terlindungi yang berada di bawah atap.

4. Kelas V

Digunakan untuk konstruksi yang bersifat tidak permanen.

2.1.5 Menurut Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia (PKKI)

I. Kayu Mutu A

Syarat kayu mutu A:

- Kayu kering udara dengan kadar lengas 12-18%
- Besarnya mata kayu tidak melebihi dari $1/6$ dari lebar balok dan juga tidak boleh lebih dari 3.5 cm.
- Tidak boleh mengandung wanvlak lebih besar dari $1/10$ tinggi balok
- Kemiringan arah serat kayu tidak boleh lebih besar dari $1/10$
- Retak arah radius kurang dari $1/4$ tebal kayu
- Retak arah lingkaran tumbuh kurang dari $1/5$ tebal kayu.

II. Kayu Mutu B

Syarat Kayu Mutu B:

- Kayu kering udara dengan kadar lengas $<30\%$
- Besarnya mata kayu tidak lebih dari $1/4$ dari lebar balok dan juga tidak boleh lebih dari 5 cm
- Tidak boleh mengandung wanvlak lebih besar dari $1/10$ tinggi balok
- Kemiringan arah serat kayu tidak boleh lebih besar dari $1/7$
- Retak arah radius kurang dari $1/3$ tebal kayu
- Retak arah lingkaran tumbuh kurang dari $1/4$ tebal kayu

2.2 KONSTRUKSI KAPAL KAYU

Kayu yang digunakan untuk konstruksi harus sehat, baik tidak ada cacat yang membahayakan. Kayu-kayu yang tidak tahan air, cuaca, jamur dan serangga tidak boleh dipergunakan. Kayu-kayu yang kurang tahan terhadap kering basah yang permanen hanya boleh digunakan untuk bagian-bagian dibawah garis air seperti papan atas. Untuk bagian konstruksi diatas garis air seperti geladak papan, kulit luar, bangunan atas, dan lain-lain dan juga bagian-bagian konstruksi didalam badan kapal harus dibuat dari kayu-kayu yang telah di keringkan dari udara. Bagian-bagian yang tidak penting umpamanya interior tidak perlu digunakan kayu-kayu seperti dala tabel pada lampiran.

Bahan kayu untuk perkapalan harus mempunyai sifat-sifat tertentu yang baik bila dibandingkan untuk kayu dengan penggunaan umum. Hal tersebut dikarenakan kapal berada dilaut dan kayu akan mendapatkan tekanan hidrostatis. Untuk itu kayu yang dipergunakan dalam perkapalan harus memperhatikan sifat-sifat sebagai berikut:

a. Keawetan

Yang menentukan keawetan kayu adalah daya tahan kayu terhadap pengaruh kerusakan oleh matahari, air laut, air hujan, tiram, serangga atau binatang laut lainnya.

b. Kekuatan

Untuk mendapatkan kekuatan yang tetap harus dilakukan uji kekuatan kayu. Kalau uji kekuatan tidak bisa dilakukan maka untuk menentukan kekuatan kayu dilakukan dengan melihat urat lentur, kuat desak dan berat jenis kayu. Berat jenis kayu ditentukan oleh kadar lengas kayu dalam keadaan kering udara.

c. Massa jenis

Massa jenis merupakan salah satu faktor yang banyak mempengaruhi kekuatan kayu. Massa jenis bahan padat dari semua jenis kayu adalah 0.54 adanya perbedaan massa jenis yang terjadi pada kayu disebabkan oleh perbedaan besar kecilnya sel dan tebal tipisnya dinding sel. Jenis kayu yang mengandung bahan padat mempunyai dinding sel yang kecil, sehingga dalam keadaan kering jenis ini mempunyai massa yang lebih besar dan kayunya lebih kuat.

d. Kelembaban kayu

Kayu mempunyai sifat *higroskopik* yaitu dapat menyerap ataupun melepaskan air kandungannya. Makin lembab udara disekitarnya akan makin tinggi pula tingkat kelembaban kayu sampai mencapai keseimbangan dengan leingkungannya. Dengan masuknya air kedalam kayu maka berat kayu akan bertambah dan menyebabkan kayu tersebut basah serta mengembang.

Bagian konstruksi diatas garis air umpamanya papan samping (dari kulit),geladak,bangunan atas, ambang palkah dan lain-lain. Dan juga bagian konstruksi didalam badan kapal harus dibuat dari kayu-kayu yang sudah di keringkan. Untuk bagian yang ada di bawah garis air boleh digunakan kayu-kayu yang tidak begitu kering. Sedangkan untuk kapal ikan khususnya pada geladak ikan harus digunakan kayu yang besar sekali kelembabannya. Bagian-bagian konstruksi yang tidak penting umpamanya interior tidak perlu digunakan kayu-kayu seperti pada tabel lampiran.

2.2.1 Kayu Sebagai bahan Utama dalam Pembuatan Kapal Kayu

Sesuai dengan namanya kapal kayu mempunyai konstruksi yang sebagian besar terbuat dari kayu. Hampir semua kapal kayu dibangun dengan sistem gading.

Kayu dapat dibuat sebagai bahan utama kayu karena kayu memiliki kelebihan antara lain:

1. kayu memiliki *modulus elastisitas* yang lebih kecil dibandingkan dengan material logam
2. kayu memiliki *density* yang lebih kecil dibandingkan material logam. Sehingga berat kayu lebih ringan dari logam dan daya apungnya lebih besar.

Tabel 2.6 Perbandingan Material

[Sumber: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>]

Material	Density(kg/cm ²)	Young's Modulus 10 ⁹ N/m ²	Ultimate Strength S _u 10 ⁶ N/m ²
Steel	7860	200	400
Aluminium	2710	70	110
Glass	2190	65	50
Concrete	2320	30	40
Wood	525	13	50
Bone	1900	9	170
Polystyrene	1050	3	48

3. kayu tidak berkarat (*rust*) atau menghasilkan karat (*corrode*) seperti (*metal*) atau pun *ferrocement*.
4. dalam proses pengerjaan untuk membentuk konstruksi kayu tidak memakai mesin-mesin berat.

2.2.2 Konstruksi Lambung Kapal Kayu

Pemilihan kayu sebagai bahan konstruksi untuk lambung kapal harus benar dengan memperhatikan sifat dan kekuatan dari kayu tersebut. Kayu-kayu yang tidak tahan terhadap air, cuaca,jamur dan serangga tidak boleh dipergunakan. Kayu yang kurang tahan terhadap perubahan kering basah yang permanen hanya boleh digunakan untuk bagian dibawah garis air, umpamanya papan alas. Untuk bagian konstruksi diatas air umpamanya papan samping (dari kulit),geladak,bangunan atas,ambang palkah dan lain-lain dan juga bagian-bagian konstruksi didalam badan kapal dibuat dari kayu-kayu

yang telah kering udara. Untuk konstruksi dibawah garis air boleh digunakan kayu-kayu yang tidak begitu kering (BKI,1996).

2.2.2.1 Kulit Luar

Kapal-kapal yang mempunyai angka menunjuka $L(B/3+H)$ sampai dengan 50 seluruh lajur-lajur dari kulit luar dapat dibuat dari papan dengan tebal yang sama. Untuk kapal yang lebih besar, lajur lunas dan lajur sisi lainnya. Diluar 0.5L tebal papan lajur lunas dan lajur sisi atas secara berangsur-angsur dapat dikurangi sampai mencapai tebal papan-papan lajur sisi dan lajur alas. Bila jarak gading-gading diperbesar, maka tebal papan harus ditambah menurut perbandingan yang sama. Papan-papan yang digunakan sedapat mungkin papan-papan yang dipotong secara radial. Papan-papan itu harus sepanjang mungkin, sambungan-sambungan dari papan-papan yang bersisian harus sekurang-kurangnya 2 kali jarak gading-gading dan bila ada 2 lajur diantaranya sekurang-kurangnya harus 1 jarak gading. Sambungan tersebut dapat dibuat ditengah-tengah gading, sambungan papan kulit luar yang terletak pada satu gading-gading. Sambungan papan kulit luar yang terletak pada satu gading-gading yang sama harus mempunyai minimal 3 lajur papan kulit luar diantaranya.

Pemasangan papan kulit harus diperhatikan dengan baik agar bagian dalam dari kayu (hati kayu) menghadap kearah sebelah dalam dan berhimpitan dengan gading. Kulit luar kapal-kapal yang berlayar di perairan es harus dilindungi haluan sampai pada tempat dimana lebar terbesar dari garis muat pada sarat terendam dicapai. Lapisan baja itu harus dibuat dari 500 mm dibawah garis muat kosong sampai pada 500 mm diatas garis muat terdalam.

2.2.2.2 Pemakalan dan lapis kulit luar

Kampuh papan-papan geladak dan papan-papan kulit luar harus dipakal dengan tali henep atau bahan lain yang sesuai. Kulit luar kapal yang panjangnya dibawah 22 m tidak perlu dipakal, bilamana papan-papan diseluruh lebarnya satu sama lain tersusun baik. Kampuh papan harus berbentuk seperti pasak yaitu diluar terbukadidalam tertutup. Kulit luar kapal yang panjangnya lebih dari 22m yang terletak dibawah garis air muatterdalam harus dipakal kuat sekali. Dan diatas garis air muat cukup dengan pemakaian yang ringan. Untuk perlindungan terhadap cuaca, kampuh yang dipakai harus disiram dengan ter atau didempul dengan dempul yang cocok. Bilamana kulit luar dilapis dengan logam maka kampuh yang dipakal tersebut cukup diberi ter.

Bilamana kulit luar suatu kapal dilapis dengan lapisan tembaga, lapisan logam atau lapisan baja sepuhan seng sebagai perlindungan terhadap es atau serangan cacing-cacing bor maka semua baut-baut yang ditembus dilunas dan linggi-linggi begitu juga semua baut-baut dikulit luar yang terletak sampai 30 cm diatas lapisan-lapisan itu, untuk mencegah korosi akibat pengaruh elektrokimia harus terdiri dari suatu bahan yang terdapat dalam deretan tegangan yang kira-kira sama dengan bahan lapisan. Papan-papan kayu dibawah lapisan itu harus diberi ter atau diberi bahan cat lainnya atau bahan isolasi yang cocok untuk itu. Dibawah lapisan-lapisan yang terdiri dari baja sepuhan harus dipergunakan lapisan alas dari hearfilz yang di ter. (sugianto,1986)

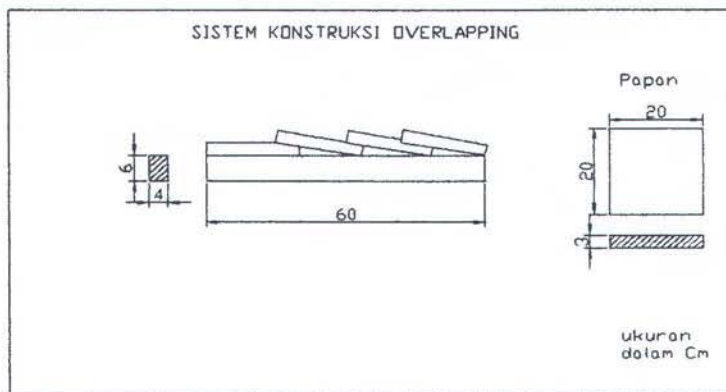
2.2.3 Konstruksi Lambung Sistem Overlapping

Kulit lambung kapal adalah dinding papan yang di pasang memanjang dari bagian depan sampai bagian belakang pada arah sisi kanan dan kiri kapal. Kulit kapal

ini berfungsi agar air tidak masuk kedalam kapal. bentuk dinding papan ini mengikuti bentuk badan kapal. Kulit lambung disangga oleh gading. Kapal kayu menurut BKI lampiran 6 jarak gading dan tebal kulit luar dipengaruhi oleh faktor $L/(B/3+H)$ dan berkisar antara 350 mm s/d 650 mm. Untuk kapal kecil tebal keseluruhannya boleh sama, untuk kapal yang besar papan lajur sisi atas dan papan lunas harus diperkuat berlaku $L/H \leq 8$.

Menurut BKI Peraturan Kapal Kayu Bab 4 lebar papan kulit luar diatas garis air (*load water line*) dapat dibuat selebar mungkin namun pada umumnya tidak boleh lebih dari $15+t/2$ [cm] Dimana :t adalah tebal papan kulit luar dalam cm. BKI tidak melampirkan lebar papan dibawah garis air. Konstruksi lambung dengan sistem overlapping, berbeda dengan sistem konstruksi lambung kapal lainnya pada beberapa bagian. Papan yang digunakan cenderung cukup lebar dan tentu saja papan tersebut akan saling mengoverlapping antara satu dengan yang lain. Papan yang lebar pada pokoknya lebih tipis dari dari papan yang digunakan secara tradisional dan dikombinasikan dengan gading yang melengkung ringan. Sehingga lambung yang dibuat bukan saja indah untuk dilihat tapi juga ringan dalam hal beratnya (Jim Trefethen, 1999).

Pada bagian papan yang mengoverlapping dimana pada papan tersebut saling diikatkan mempunyai efek yang sama dalam hal kekuatannya dengan penguatan (*stringer*), membuat lambung dengan sistem overlapping kuat sekali untuk berat yang dimilikinya dibandingkan dengan sistem tradisional lainnya.



Gbr.2.1 Sistem Konstruksi Overlapping

Pada sistem overlapping di ketahuai ada 2 macam yaitu :

- ❖ Sistem menempel penuh dan
- ❖ Sistem tidak menempel penuh.

Untuk sambungan overlapping yang tidak menempel penuh lihat gambar dimana terlihat antara planking (papan) dan gading terdapat celah.

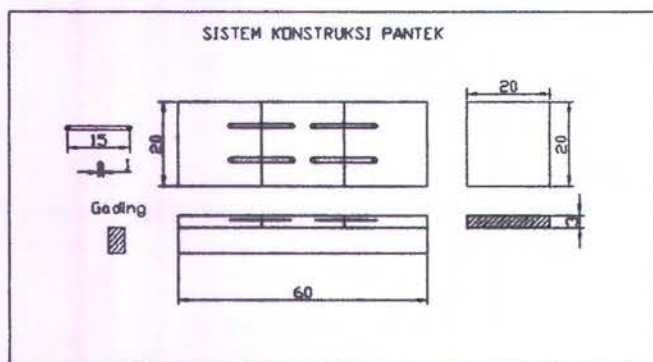
Untuk sistem menempel penuh, dimana terlihat antara papan dan gading menempel penuh. Kayu yang dipakai untuk bahan papan biasanya berasal dari kayu yang keras (*hardwood*) seperti kayu kamper. Pada galangan-galangan kapal kayu yang menggunakan sistem konstruksi overlapping, pada masing masing ujung planking yang overlap, salah satu dari planking harus dibuat bevel agar kemiringannya dapat mengikuti kelengkungannya dari gading. Jadi pada bagian ujung dari planking dibuat bentuk taper atau tirus dan tujuan ini adalah mengurangi bagian yang terbuka dari sambungan. Papan kulit luar dari sistem konstruksi overlapping hanya sebagian saja yang diikatkan pada gading. Antara papan yang satu dengan yang lain saling diikatkan

dengan menggunakan beberapa metode yaitu dengan clinch nail, rivet & burrs, skrup, square nails & roves, mutad rivet dan lain-lain penggunaan metode tersebut disesuaikan dengan kebutuhan. Kelemahan dari sistem ini adalah permukaan yang dihasilkan kasar akibat overlapping antara papan-papan luar sehingga tahanan yang terjadi cukup besar. Selain itu efisien dari material untuk kulit luar yang rendah.

2.2.4 Konstruksi Lambung Sistem Pantek

Sistem konstruksi ini menggunakan kayu yang di potong menjadi lembaran-lembaran papan dan hanya beberapa bagian yang diikatkan pada gading. Papan (planking) memberikan kontribusi cukup besar terhadap kekuatan lambung. Sehingga penggunaan gading menjadi lebih sedikit dan konstruksi kapal menjadi lebih ringan.

Untuk mendapatkan permukaan yang halus dan smooth pada sistem pantek sangat mudah pengerjaannya dimana pemasangan kulit luar dilakukan terlebih dahulu, setelah selesai dilakukan pemasangan gading. Tetapi untuk mengerjakan bagian kulit yang melengkung agar tampak halus dan *smooth* memerlukan banyak waktu karena bagian yang melengkung harus dibentuk dahulu. Pada sistem pantek pengikatan sambungan antar lembaran papan yang satu dengan yang lain menggunakan pasak. Pasak yang digunakan dari bahan kayu pong. Dimana sifat kayu tersebut jika terkena air akan mengembang sehingga kekuatan pengikatan pasak terhadap sambungan antar papan menjadi lebih kuat.



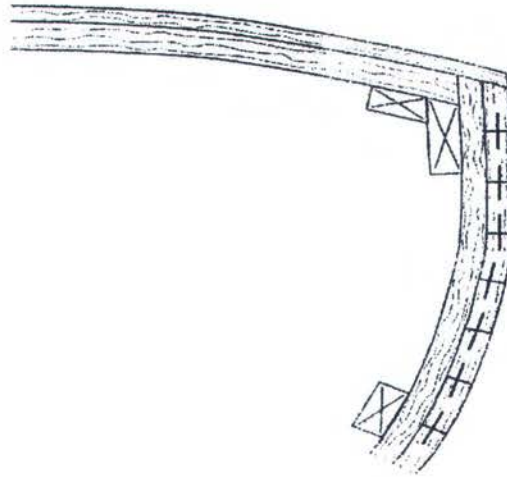
Gbr.2.2 Sistem Konstruksi pantek

2.2.4.1 Sambungan dengan pasak

Disamping alat-alat kayu seperti perekat, paku, sekrup dan baut terdapat alat-alat penyambung kayu yang kesemuanya dapat dianggap termasuk golongan pasak. Pada prinsipnya pasak adalah bagian-bagian kayu yang disambung untuk memindahkan beban dari bagian yang satu ke bagian yang lain.

Menurut pemasangannya pasak-pasak dapat dibagi menjadi 3 macam yaitu:

- Yang pada bidang sambungan dimasukkan kedalam takikan-takikan didalam bagian-bagian kayu yang disambung.
- Yang pada bidang sambungan dimasukkan didalam bagian-bagian kayu dengan cara dipres.
- Kombinasi dari kedua cara diatas.



Gbr.2.3.Konstruksi lambung Sistem Pantek (trefethen,1993)

Sedangkan dalam peraturan konstruksi kayu Indonesia (PPKI) yang disebutkan pasak adalah alat penyambung yang dimasukkan kedalam takikan-takikan didalam kayu, dan yang dibebani tekanan dan geseran. Pasak kayu keras memasangnya harus sedemikian sehingga serat-seratnya terletak sejajar dengan serat-serat batang kayu disambung. Apabila pasak tersebut dipergunakan untuk konstruksi yang selalu terendam air atau untuk bagian konstruksi yang tidak terlindungi dan kemungkinan besar kadar lengas kayu akan selalu tinggi, maka didalam perhitungannya kekuatannya harus dikalikan dengan angka $2/3$. apabila pasak tersebut digunakan untuk konstruksi yang tidak terlindungi tetapi kayu-kayu itu dapat mengering dengan cepat kekuatannya harus dikalikan dengan $5/6$ (Yap.1996).

Pasak yang digunakan pada kapal dapat juga dibuat dari kayu keras besi atau baja. Dilapangan para pembuat kapal kayu lebih menyukai pasak dari kayu keras dari pada pasak dari besi atau baja. Karena kayu memiliki sifat tahan korosi dari pada pasak dari besi. Salah satu jenis kayu yang digunakan sebagai kayu adalah kayu pong. Dimana kayu ini memiliki sifat yang jika terkena air akan mengembang sehingga daya pengikatannya pada sambungan menjadi lebih kuat. Tetapi untuk memperolehnya cukup sulit selain kayu nya sudah hampir punah kayu ini hanya terdapat di beberapa daerah tertentu saja. Kelangkaan kayu pong menyebabkan harga pasak dari kayu ini lebih mahal dibandingkan dengan harga pasak dari besi baja.



Gbr.2.4 Pasak Kayu

2.2.4.2 Pengikatan dengan sekrup

Sekrup umumnya dianggap sebagai alat melekatkan yang terbaik karena memiliki ketahanan yang lebih besar dan tidak mudah berubah terhadap pencabutan. Ketahanan terhadap pencabutan ini tergantung dari diameter dan panjang sekrup,

ukuran dari lubang bar setepat-tepatnya adalah lebih penting dari pada factor lainnya. Akan baik sekali kalau dipakai lubang bar dengan 2 ukuran yang sama dengan diameter 90% dari diameter ujung sekrup yang bermata diukur dari bagian dalam dari mata jika dipakai dalam kayu keras. Sekrup jangan dimasukkan dengan bantuan palu atau martil, juga tidak boleh dimasukkan kedalam ujung kayu dimana mungkin terdapat tekanan atau beban dari samping yang besar karena dapat mengakibatkan pecahnya kayu tersebut. Penggunaan ukuran sekrup tergantung dari tebal papan yang harus dilaluinya diameter tergantung dari panjangnya (Sugianto, 1986).

Pada sistem konstruksi pantek untuk mengikat papan-papan kulit luar pada gading alat pengikatnya salah satunya dengan menggunakan sekrup. Sekrup memiliki bermacam-macam tipe yaitu oval head, flat head dan round head. Dan terbuat dari bahan-bahan yang berbeda pula seperti besi yang digalvanis, perunggu monel dan stainless steel. Dari semua jenis sekrup yang ada tersebut harus dapat digunakan sebagai pengikat dengan mudah, cukup kuat dan tahan lama serta tidak mudah berkarat.

2.3 KELELAHAN PADA KAYU

Kelelahan pada kayu tidak memiliki aturan yang baku. Oleh karena itu prinsip kelelahannya mengacu pada material logam. Untuk mengetahui kelelahan, maka input yang diperlukan adalah jenis pembebanan dan besar pembebanan, amplitudo, range, frekuensi, jenis cycle tegangan dan *stress ratio* (R) yang digunakan (T.R Gurney, 1968). Jenis pembebanan terdiri dari tekan dan tarik. Amplitudo adalah besar beban yang digunakan, range adalah besar pembebanan dikalikan dua (dua kali amplitudo) serta jenis cycle tegangan.

Pecah atau rusaknya konstruksi kayu dapat dikategorikan menjadi 2 katagori dan masing masing katagori mempunyai ciri ciri sendiri yaitu :

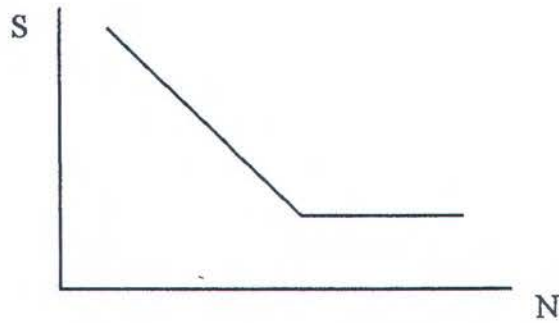
1. Rusak total atau pecah
2. Rusak pada daerah tertentu atau retak seperti sambungan sehingga sambungan tidak berfungsi.

Sedangkan rusak total dari konstruksi kayu dapat dibagi menjadi penyebab beban tersebut seperti :

1. Beban statis yang melebihi kekuatannya
2. Beban mendadak
3. Beban dinamis yang terus menerus sehingga sampai batas tertentu menimbulkan stress yang merusakkan konstruksi.

Untuk mengukur kekuatan dari suatu konstruksi maka dapat ditentukan dengan kekuatan statis dan dinamis.

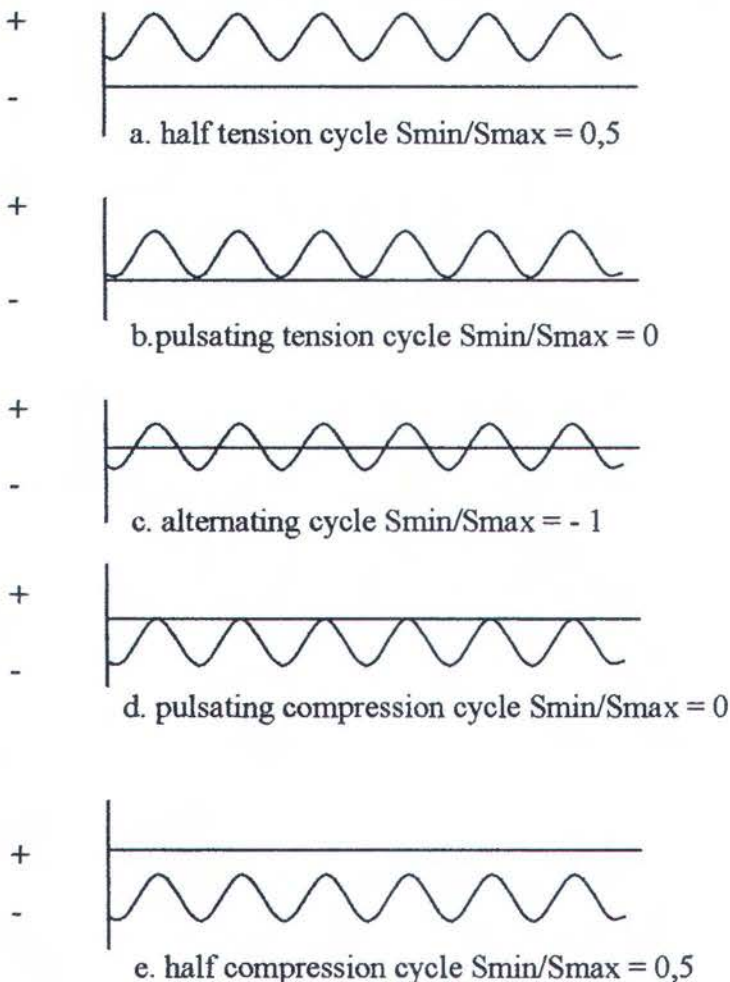
- Kekuatan statis biasanya dihitung dengan memakai rumus-rumus dari hasil perhitungan mekanika teknik.
- Kekuatan dinamis biasanya ditentukan dengan cara menentukan diagram S-N yaitu diagram yang menggambarkan stress pada ordinat dan cycle pada absis.



Gbr 2.5 Diagram S-N secara umum material

Grafik diatas adalah hasil dari percobaan yang dapat menggambarkan sampai batas mana suatu konstruksi tersebut akan rusak atau pecah. Pembuatan grafik ini adalah dengan cara membebani suatu konstruksi pada mesin-mesin dinamis dengan macam-macam beban dinamis.

Bentuk pembebanan yang digunakan dalam pengujian adalah berbeda-beda dan ini dapat dinyatakan dengan stress ratio S_{min}/S_{max} , dan dapat digambarkan seperti gambar berikut :

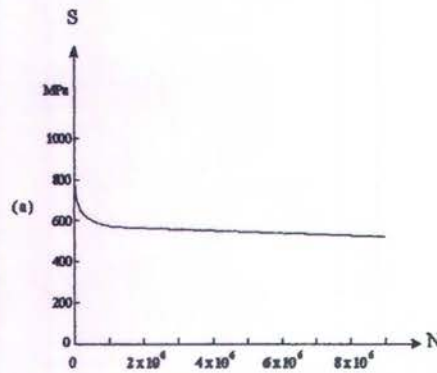


Gbr 2.6 Macam bentuk ratio pembebanan

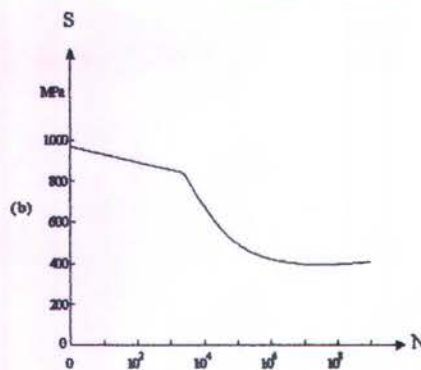
Gambar diatas menunjukkan bahwa beban yang bekerja tampak seperti pada gambar a) memberi arti bahwa beban tarik memiliki harga max + S_{max} dan harga min + S_{min} . Demikian dilakukan berulang-ulang kali sampai spesimen uji tersebut lelah dan patah. Kejadian patah itu dicatat dengan besarnya pembebanan yang berlainan sehingga akan

didapatkan beberapa titik-titik dan bila antara titik yang satu dengan yang lain dihubungkan akan diperoleh bentuk grafik S-N.

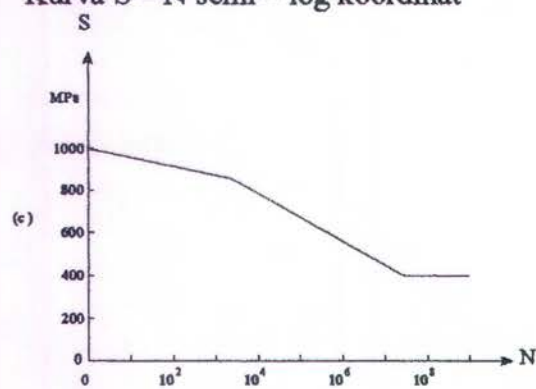
Grafik S-N dapat juga dinyatakan sebagai bentuk logaritma maupun semi logaritma. Apabila salah satu absis atau ordinatnya dinyatakan dalam bilangan atau skala logaritma sedangkan yang lain merupakan bilangan atau skala biasa maka grafik tersebut dinyatakan sebagai bentuk semi logaritma. Apabila absis dan ordinatnya dinyatakan dalam bilangan atau skala logaritma maka grafik tersebut dinyatakan sebagai bentuk logaritma. Bentuk grafik S-N tersebut digambarkan seperti pada gambar berikut:



Kurva S – N koordinat linear



Kurva S – N semi – log koordinat



Kurva S – N log koordinat

Gbr 2.7 Macam bentuk diagram S-N

Dari grafik S-N kita dapat menghitung waktu ketahanan atau kekuatan suatu konstruksi dengan cara sebagai berikut : bila suatu konstruksi yang dibuat dari bagian-bagian maka untuk mengetahui ketahanan konstruksi tersebut pada mulanya kita harus mengambil sampel dari bagian konstruksi yang digunakan yaitu kayu maupun sambungan konstruksinya. Dari sampel ini

kemudian kita test ketahanan hidupnya dengan beberapa kondisi pembebanan seperti pada gambar diatas, dari hasil pengetesan kita akan mendapatkan suatu hasil yaitu angka cycle untuk ketahanan konstruksi yang berbeda-beda pula. Dari harga yang diperoleh bila kita masukkan kedalam grafik akan didapat cycle yang menyebabkan failure dari konstruksi tersebut.(Sidik, 1983)

2.4 BEBAN PADA KONSTRUKSI KAPAL

Kapal dalam berlayar di perairan akan mengalami berbagai beban yaitu :

1. Beban Statis, yaitu beban-beban yang berubah hanya apabila berat total kapal berubah sebagai akibat bongkar muat, pemakaian bahan bakar atau perubahan pada kapal itu sendiri.
 - Berat kapal beserta seluruh isinya
 - Gaya tekan ke atas statis saat diam atau bergerak.
 - Beban suhu akibat perbedaan suhu *non linear* dalam lambung.
 - Beban terpusat akibat *dry docking* dan kandas.
2. Beban-Beban Dinamis Berfrekuensi Rendah, yaitu beban-beban yang berubah besarnya dalam waktu dengan periode beberapa detik sampai ke menit dan oleh karena itu terjadi pada frekuensi-frekuensi yang cukup rendah, yang bila dibandingkan dengan frekuensi-frekuensi respon getaran lambung dan bagian-bagiannya, tidak menyebabkan pembesaran resonansi yang *signifikan* pada tegangan-tegangan yang terjadi pada struktur kapal. Beban ini terutama disebabkan oleh gelombang kapal selama kapal bergerak.
 - Variasi tekanan pada lambung akibat gelombang
 - Variasi tekanan dinamis akibat gerakan osilatori kapal.
 - Reaksi-reaksi inersial akibat percepatan massa kapal beserta isinya.
3. Beban-Beban Dinamis Berfrekuensi Tinggi, yaitu beban-beban yang berubah dalam waktu dengan frekuensi tinggi untuk menimbulkan respon getaran pada struktur kapal. Beban jenis ini mungkin kecil namun karena pembesaran resonansi, beban ini dapat mengakibatkan tegangan-tegangan dan lendutan yang berlebihan. Yang tergolong dalam beban ini adalah:
 - Beban hidrodinamis pada lambung akibat propeller kapal.
 - Beban-beban pada lambung kapal akibat permesinan di dalam kapal.
 - Beban hidroelastis akibat adanya interaksi komponen-komponen tonjolan kapal (kemudi dsb) dengan aliran fluida di sekeliling kapal.
4. Beban Tumbuk, yaitu beban-beban akibat *slaming* atau pukulan gelombang pada lunas dan lambung haluan atau bagian lainnya termasuk pengaruh siraman air di atas geladak. Beban tumbuk ini dapat menimbulkan getaran transient pada lambung (*whipping*). (Rosyid, 2000)

2.4.1 Konsep Pembebanan Statis dan Dinamis

Suatu konstruksi dapat mengalami kepecahan meskipun beban yang diterimanya dibawah ultimate tensile strength. Hal ini dapat terjadi karena beban yang diterimanya berlangsung secara periodik. Beban ini disebut *beban dinamis*. Ketahanan material terhadap beban dinamis bergantung pada besar beban. Kekuatan material dan jenis material. Ketahanan ini disebut *fatigue life* biasanya digunakan dalam satuan *cycle*. Untuk itu suatu struktur direncanakan untuk dapat menahan beban-beban yang bekerja padanya dan diharapkan tidak terjadi suatu kegagalan. Pembebanan dapat dihubungkan sebagai fungsi waktu dan dikelompokkan menjadi:

- Pembebanan Statis

Pembebanan statis adalah pembebanan yang besarnya tetap tanpa ada perubahan dalam siklus waktunya. Beban yang bekerja mencapai suatu harga tertentu dan kemudian harga beban dipertahankan sampai batas waktu tertentu.

➤ **Pembebanan Dinamis**

Pembebanan dinamis adalah pembebanan-pembebanan yang dilakukan berulang-ulang (*periodik*) dimana sebagian atau seluruhnya terulang sebagai fungsi waktu t .

Dalam grafik terdapat beberapa istilah dan parameter yang perlu diketahui yaitu:

- Tegangan Maksimum** (σ_{\max}) adalah tegangan yang mempunyai harga tertinggi dalam satu siklus beban.
- Tegangan Minimum** (σ_{\min}) adalah tegangan yang mempunyai harga minimum dalam satu siklus beban.
- Tegangan rata-rata** (σ_m) adalah setengah dari penjumlahan tegangan maksimum dan minimum

$$\sigma_m = \frac{1}{2} (\sigma_{\max} + \sigma_{\min})$$

- Amplitudo tegangan** (A) adalah setengah dari selisih tegangan maksimum dan minimum

$$\sigma_m = \frac{1}{2} (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})$$

- Jumlah siklus pembebanan** adalah jumlah siklus pembebanan yang dilambangkan dengan N . Dalam grafik biasanya digambarkan dalam bentuk log sehingga membentuk garis lurus.
- Laju pengulangan beban** yaitu banyaknya pembebanan yang terjadi dalam satu satuan waktu. Dinyatakan dalam per detik atau disebut dengan frekuensi.
- Ratio beban, stress ratio R** yaitu perbandingan antara tegangan minimum dengan tegangan maksimum atau beban minimum dengan beban maksimum dalam satu siklus pembebanan.

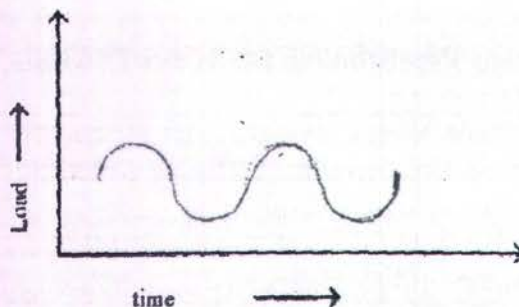
Berdasarkan besarnya amplitudo, pembebanan dibedakan:

- Amplitudo bervariasi (*variable amplitudo*)
- Amplitudo tetap (*constan amplitudo*)
- Acak (*random*)

Berdasarkan macam bentuk gelombang pembebanan dibedakan:

1. Sinusoidal (*sinh wave form*)

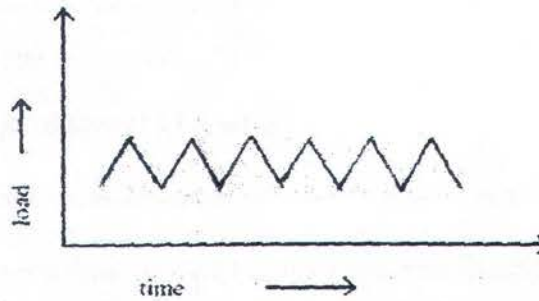
Bentuk gelombang pembebanan ini adalah dalam bentuk sinus. Seperti terlihat pada gambar dibawah ini, beban akan meningkat dari beban minimum ke beban maksimum dengan slope sesuai dengan sinus.



Gbr 2.8 Pembebanan sinusoidal

2. Segitiga (*triangular wave fom*)

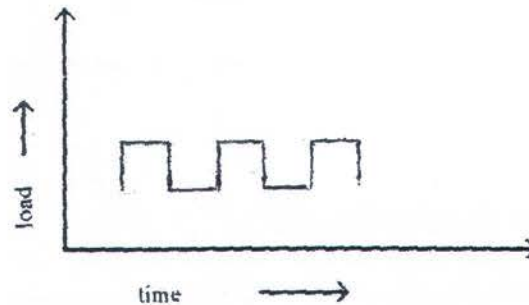
Pada bentuk pembebanan jenis ini terjadi perubahan tegangan yang tiba-tiba setelah mencapai harga maksimum dan minimum dari siklus pembebanan. Perubahan ini terjadi dengan kemiringan yang tetap, dimana merupakan pencerminan terhadap sumbu tegak pada setengah periode sebelumnya. Perubahan ini berulang-ulang seperti siklus sebelumnya.



Gbr 2.9 Pembebanan segitiga

3. Persegi (*square wave form*)

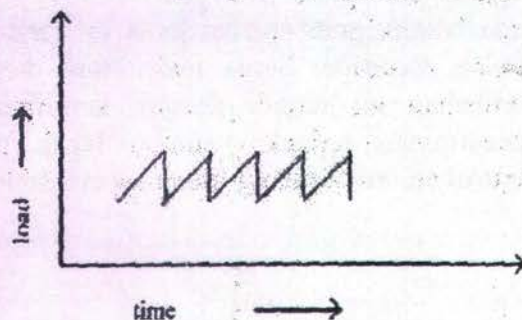
Mekanisme dari bentuk pembebanan ini adalah suatu tegangan minimum tertentu secara statis konstan yang bekerja sampai setengah dari periode siklus kemudian berubah dengan cepat sampai harga maksimum tertentu sampai akhir setengah periode berikutnya. Siklus ini akan berulang seperti sebelumnya.



Gbr 2.10 Pembebanan segiempat

4. Gergaji Positif (*positive Swatooth Wave form*)

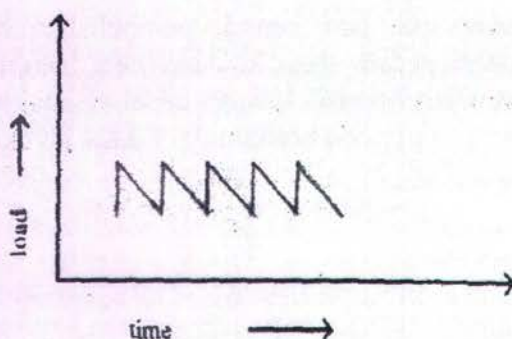
Pembebanan dengan bentuk gelombang gergaji positif. Suatu harga tegangan minimum tertentu akan meningkat dengan kemiringan tertentu sampai mencapai harga tegangan maksimumnya. Setelah harga maksimumnya tercapai tegangan dengan tiba-tiba berubah dengan cepat sampai harga minimumnya. Siklus ini berulang sebagaimana sebelumnya.



Gbr 2.11 Pembebanan gergaji positif

5. Gergaji negatif (*negatif swatooth wave form*)

Pembebanan ini merupakan kebalikan dari jenis pembebanan gergaji positif. Setelah mencapai suatu harga tegangan minimum tertentu perubahan yang tiba-tiba sampai terjadi harga maksimum tertentu dan kemudian turun dengan kemiringan tertentu dengan relatif lebih lambat sampai pada harga tegangan minimumnya, siklus ini berulang seperti sebelumnya.

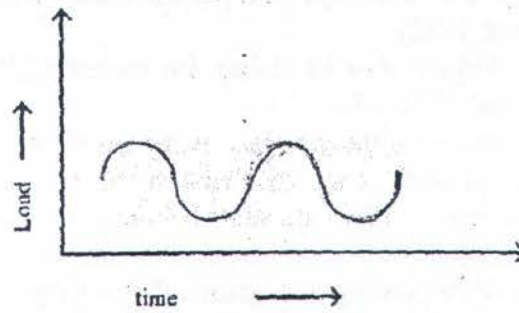


Gbr 2.12 Pembebanan gergaji negatif

Seperti disebutkan diatas dalam suatu siklus pembebanan berulang, harga perbandingan antara tegangan minimum dengan tegangan maksimum yang bekerja disebut dengan perbandingan siklus atau *stress ratio* yang dilambangkan dengan R .

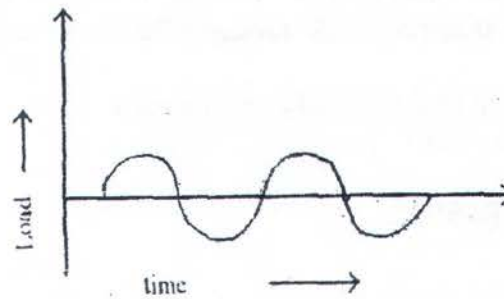
Tegangan rata-rata pembebanan dengan amplitudo konstan dapat dibedakan dalam beberapa jenis, yaitu:

- Tegangan diatas sumbu nol, hal yang demikian menunjukkan bahwa harga tegangan minimum dan tegangan maksimum adalah positif atau disebut dengan tegangan tarik. Pembebanan jenis ini merupakan pembebanan tarik yang bekerja membesar dan mengecil berulang-ulang.



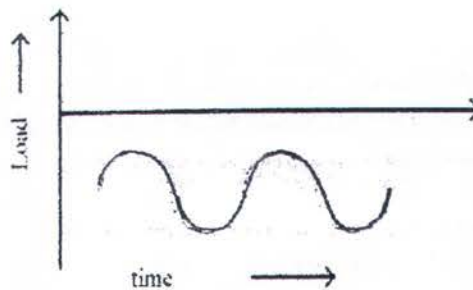
Gbr 2.13 Pembebanan diatas sumbu nol

- Tegangan melewati sumbu nol, pada pembebanan jenis ini tegangan minimum bekerja adalah tegangan tekan atau tegangan negatif, sedangkan tegangan maksimumnya adalah tegangan tarik atau tegangan positif.



Gbr 2.14 Pembebanan melewati sumbu nol

- Tegangan dibawah sumbu nol, hal ini menunjukkan bahwa tegangan minimum dan tegangan maksimumnya merupakan tegangan negatif atau tegangan tekan.



Gbr 2.15 Pembebanan dibawah sumbu nol

2.5 PEGERTIAN DASAR FATIGUE

Fatigue adalah salah satu mode kegagalan yang harus dipertimbangkan dalam mendesain suatu struktur. Bahkan ada dalam beberapa literatur menyebutkan bahwa 50%-90% dari seluruh kegagalan mekanis disebabkan oleh *fatigue*. *Fatigue* adalah mekanisme yang terjadi

sebagai salah satu hasil dari sejumlah pembebanan berulang-ulang, maka kegagalan *fatigue* akan terjadi (Broek, 1982).

Definisi dari *fatigue* atau kelelahan ini menurut *ASTM (American Society for Testing Material) E 206 hal 364* adalah:

Suatu *proses progresif* yang terjadi pada suatu area struktur permanen dimana terjadi perubahan pada material yang disebabkan suatu kondisi yang menghasilkan fluktuasi tegangan dan regangan pada suatu atau beberapa titik yang memuncak menjadi *retak* atau *kepecahan* atau *kegagalan struktur* secara keseluruhan setelah sejumlah fluktuasi tertentu.

Terdapat empat kata penting dari definisi di atas yang dapat menjelaskan tentang pengertian kelelahan atau *fatigue*. Dapat juga dikatakan bahwa keempat kata tersebut adalah:

Progresif yang menjelaskan bahwa proses *fatigue* terjadi pada suatu periode waktu dan pemakaian tertentu. Kegagalan sering terjadi secara mendadak tanpa peringatan sebelumnya.

Terjadi pada suatu area menjelaskan bahwa proses *fatigue* berlangsung pada suatu bagian tertentu dari suatu struktur bukan pada keseluruhan komponen atau struktur. Bagian lokal ini dapat mengalami tegangan atau regangan yang tinggi disebabkan beban eksternal, perubahan geometris, perbedaan temperatur atau ketidaksempurnaan material.

Retak penyebab utama dari seluruh kegagalan *fatigue* adalah yang merambat sampai pada suatu titik dimana material tidak sanggup lagi menahan tegangan dan kegagalan struktur terjadi.

Kepecahan atau Kegagalan struktur menjelaskan bahwa kondisi terakhir dari suatu proses *fatigue* adalah pemisahan dari komponen atau struktur menjadi 2 bagian atau lebih.

2.6 DISTRIBUSI WEIBULL

Distribusi weibull adalah satu dari sebagian besar diakuai secara luas digunakan dalam distribusi lifetime dalam keandalan. Sebuah distribusi yang serba guna yang dapat mengambil karakteristik dari tipe distribusi lain, Didasarkan pada nilai dari parameter bentuk (β). Merupakan variabel acak yang biasa digunakan untuk memodelkan distribusi kegagalan (*failure*) misalnya *fatigue failure*. Distribusi weibull sangat dikenal sebagai model statistik untuk menganalisa life data dari suatu model. Juga digunakan pada Banyak aplikasi lainnya seperti ramalan cuaca. Diantara semua teknik statistika weibull mungkin digunakan untuk analisa engineering dengan ukuran sampel paling kecil atau paling sedikit dari banyak metode lainnya.

Pengujian umur sebuah sampel sering memakan waktu yang lama, karena untuk mendapatkan hasil yang akurat dibutuhkan sampel dengan jumlah banyak. Metode ini merupakan salah satu metode pengujian umur yang bersifat statistik dan cukup akurat untuk mengestimasi umur rata-rata dari sampel yang akan diuji. Penentuan *fatigue life* suatu sambungan struktur kayu tidak hanya ditentukan oleh estimasi *fatigue life* saja akan tetapi probabilitas dan keandalan struktur tersebut juga sangat perlu.

Hal tersebut sangat erat kaitannya dengan konsep keandalan (*Reability*). Keandalan erat kaitannya dengan Peluang (*Probability*). Dalam penerapannya digunakan untuk menjelaskan peluang kegagalan komponen. Oleh karena itu untuk menganalisa Peluang kekuatan kelelahan dan tingkat keandalan dari suatu konstruksi digunakan pendekatan dengan distribusi weibull. Dimana fungsi weibull adalah sebagai pendekatan empiris dalam menentukan waktu sampai gagal suatu model dan hasilnya sangat memuaskan. Dengan analisa distribusi weibull tersebut dapat ditentukan probabilitas atau peluang terjadinya retak atau patah pada masing – masing spesimen saat mendapatkan beban tersebut.

Perhitungan probabilitas dengan distribusi weibull memerlukan 3 parameter pokok weibull (yaitu α , β , dan γ). Rumus distribusi weibull untuk tiap specimen uji *fatigue* diformulasikan sebagai berikut;

⇒ Fungsi densitas Peluang

$$f_{\Sigma}(N) = \left(\frac{\alpha}{\beta}\right) \left(\frac{N-\gamma}{\beta}\right)^{(\alpha-1)} \exp\left[-\left(\frac{N-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha}\right]$$

Untuk $N > \gamma$

⇒ Fungsi distribusi kumulatif

$$f_{\Sigma}(N) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{N-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha}\right]$$

Untuk $N > \gamma$

⇒ Fungsi densitas peluang weibull

$$f_{\Sigma}(N) = \left(\frac{\alpha}{\beta}\right) \left(\frac{N}{\beta}\right)^{(\alpha-1)} \exp\left[-\left(\frac{N}{\beta}\right)^{\alpha}\right]$$

Untuk $N > \gamma$

⇒ Fungsi distribusi kumulatif peluang

$$f_{\Sigma}(N) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{N}{\beta}\right)^{\alpha}\right]$$

Untuk $N > \gamma$

⇒ Fungsi keandalan weibull

$$R(N) = \exp\left[-\left(\frac{N-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha}\right]$$

Untuk $N > \gamma$

⇒ Fungsi laju keandalan

$$\lambda(N) = \frac{f(N)}{R(N)} = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{N-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1}$$

Untuk $N > \gamma$

⇒ Cycle tegangan untuk fungsi peluang atau MTBF

$$\bar{N}_i = \gamma + \beta \left[\ln\left(\frac{1}{1-p_i}\right) \right]^{1/\alpha}$$

Distribusi weibull merupakan salah satu dari sekian macam distribusi yang sering digunakan dalam teknik reliabilitas.

Karakteristik khusus dari weibull distribusi :

1. Fungsi reliabilitas weibull mempunyai $0 \leq t \leq y$ dan setelah itu menurun untuk $t > y$, jika $t \rightarrow \infty$ maka $R(t) \rightarrow 0$. $R(t)$ akan menurun secara tajam dan monoton untuk $0 < \beta < 1$, bersifat konveks dan menurun kurang tajam untuk β yang sama tetapi dengan η yang lebih besar dari sebelumnya.
2. Untuk $\beta = 1$ dan dengan η yang sama $R(t)$ akan menurun secara monoton dan kurang tajam daripada $0 < \beta < 1$ dan bersifat konveks.
3. Untuk $\beta > 1$, $R(t)$ menurun bila t meningkat tetapi tidak setajam sebelumnya.
4. Reliabilitas untuk misi selama $(y+n)$ mulai pada saat nol, selalu sama dengan 0,368. Karena itu semua fpp weibull 36,8%. Komponen berfungsi baik untuk $t = y+n$ dan

untuk setiap β dan nilai $(y+n)$ yang sama, semua nilai $R(t)$ yang digambarkan akan melewati $R(t) = 0,368$ dan $t = y+n$ dalam fungsi $R(t)$ pada persamaan diatas.

Karakteristik dari fungsi laju kerusakan weibull

1. Laju kerusakan weibull $0 < \beta < 1$, dimulai pada ∞ di $t = y$. $\lambda(t)$ menurun setelah itu secara monoton dan berbentuk konveks. Mendekati nilai nol ketika $t \rightarrow 0$ atau $\lambda(\infty) = 0$. Sifat ini cocok untuk menggambarkan laju kerusakan komponen yang menunjukkan jenis kerusakan awal dimana laju kerusakan akan menurun sesuai umur.
2. untuk $\beta = 1$, $\lambda(t)$ menjadi konstan sesuai dengan peningkatan umur pada nilai $1/\eta$ atau $\lambda(t) = \lambda = 1/\eta$ untuk $\beta = 1$. Sifat ini cocok untuk menggambarkan kejadian kerusakan yang bersifat acak atau laju kerusakan konstan (terjadi pada periode pemakaian alat / *useful life period*).
3. Untuk $\beta > 1$, $\lambda(t)$ meningkat jika t bertambah dan ini cocok untuk menggambarkan laju kerusakan komponen karena adanya pengaruh umur (wear-out). Untuk $1 < \beta < 2$ grafik berbentuk cekung karena itu laju kerusakan meningkat.

Untuk $\beta = 2$ sesuai dengan distribusi Rayleigh laju kerusakan adalah

$$X(t) = \frac{2}{\eta \left(\frac{t-y}{\eta} \right)}$$

Distribusi Weibull Seperti halnya distribusi gamma, distribusi weibull juga merupakan salah satu peubah acak kontinyu, yaitu suatu fungsi yang memasangkan suatu hal yang mungkin dari suatu eksperimen dengan bilangan real. Distribusi weibull memiliki aplikasi yang sama dengan distribusi gamma. Distribusi weibull banyak dipakai dalam *reliability engineering* sebagai jangka waktu kegagalan dalam komponen system.

BAB III

PROBABILITAS KERUSAKAN

DENGAN MENGGUNAKAN TEORI WEIBULL

Dalam pengoperasian kapal kayu seringkali muncul permasalahan seperti kebocoran, deformasi dan lain sebagainya yang disebabkan oleh adanya beban yang bekerja pada seluruh bagian konstruksi pada kapal tersebut. Beban yang ditimbulkan tersebut menghasilkan tegangan pada lambung kapal yang mana akan menyebabkan kerusakan pada konstruksi tersebut diatas. Dalam pembuatan kapal kayu dikenal 2 macam konstruksi yang umum digunakan yaitu sistem pasak (pantek) dan sistem overlapp. Dari kedua sistem tersebut seberapa besar kemungkinan terjadinya kerusakan dalam menahan beban dinamis dengan menggunakan analisa statistika. Pentingnya konsep dan metode probabilitas dalam rekayasa, peranan dari konsep probabilitas yang paling penting berada dalam kerangka terpadu dari ilmu probabilitas untuk analisis kuantitatif dari ketidakpastian serta penentuan resiko yang berkaitan dan dalam perumusan telaah perimbangan relatif pengambilan keputusan, perencanaan dan perancangan. Ketidakpastian yang berhubungan dengan keacakan atau ketidaksempurnaan semacam itu tidak dapat dialihkan dalam desain dan perencanaan rekayasa. Akhirnya penting untuk menghilangkan konsep yang keliru bahwa diperlukan data yang ekstensif untuk menerapkan konsep-konsep probabilitas. Kegunaan dan relevansi konsep-konsep semacam itu sama pentingnya tanpa mengingat jumlah atau kualitas dari informasi. Ilmu probabilitas adalah dasar konseptual dan teoritis untuk memodelkan dan menganalisa ketidakpastian. Tersedianya data dan mutu informasi akan mempengaruhi tingkat ketidakpastian, namun kurangnya data tidak mengecilkan kegunaan probabilitas sebagai alat yang layak untuk analisis ketidakpastian yang demikian. Dari analisa dapat diamati bahwa dalam menghitung probabilitas dari suatu peristiwa, kita memerlukan dasar untuk menentukan ukuran probabilitas. Pada berbagai hasil yang mungkin, perlu ditekankan kita akan memperlakukan probabilitas sebagai sebagai ukuran yang diperlukan dan berguna dalam persoalan yang menyangkut lebih dari satu peristiwa atau hasil yang mungkin. Namun kegunaan probabilitas yang dihitung akan bergantung pada ketetapan dari dasar penentuannya.

Dalam hal ini kita lihat bahwa berlakunya dasar yang ditentukan lebih dulu untuk menghitung probabilitas bergantung pada kelayakan (ketepatan) dari asumsi yang digunakan.

3.1 KONSEP KETIDAKPASTIAN

Banyak sumber ketidakpastian yang sering muncul (*inheren*) dalam suatu desain struktur. Meskipun apa yang sering kita pikirkan, parameter pembebanan dan kapasitas beban yang dapat diterima suatu komponen struktur tidak ditentukan kuantitasnya. Ketidakpastian ini merupakan variabel acak, sehingga keamanan *absolut* (peluang kegagalan sama dengan nol) tidak dapat dicapai. Oleh karena itu, struktur harus didesain untuk melaksanakan fungsinya dengan suatu peluang kegagalan terukur untuk mendapatkan hasil yang lebih tepat dan akurat. Untuk menghitung ketidakpastian pada suatu struktur dengan analisa metode keandalan, perlu didefinisikan tentang perubah dasar (*basic variable*). Perubah dasar adalah sekumpulan besaran dasar yang menghasilkan tanggapan (*response*) statis maupun dinamis dari struktur. Macam-macam perubah dasar ini yaitu sifat mekanis material, ukuran, beban, lingkungan dan sebagainya. Semua ini dipakai secara fundamental oleh perencana dalam perhitungan struktur. Selain itu dalam analisa sistem bangunan maka perlu untuk mendefinisikan ketidakpastian yang diterima struktur.

Ketidakpastian ini dapat dibagi dalam 3 bagian (rosyid,1996)

1. Ketidakpastian fisik yaitu ketidakpastian yang berhubungan dengan keragaman (*variability*) fisik seperti beban, sifat material dan ukuran material. Keragaman fisik hanya bisa dinyatakan dalam contoh data dengan pertimbangan praktis dan ekonomis.
2. Ketidakpastian statistik yaitu ketidakpastian yang berhubungan dengan data-data yang dipakai untuk membuat model secara probabilistik dari berbagai macam keragaman fisik di atas. Data-data ini harus ditentukan jenis distribusi probabilitasnya serta harga-harga parameternya. Parameter-parameter ini dengan sendirinya dianggap sebagai perubah acak, sedangkan ketidakpastian yang tergantung pada data ini disebut ketidakpastian statistik.
3. Ketidakpastian model, merupakan ketidakpastian yang berhubungan dengan tanggapan dari jenis struktur bangunan yang dimodelkan secara matematis dalam bentuk *deterministik dan probabilistik*. Ketidakpastian yang terjadi disini hasil dari penyederhanaan dengan memakai bermacam-macam asumsi, kondisi batas yang tidak diketahui, dan diketahuinya pengaruh perubah yang lain serta hubungan perubah-perubah yang tidak tercakup dalam model.

Dalam analisa struktur secara umum, faktor ketidakpastian disebabkan oleh pengukuran atau dugaan terhadap variabel dalam data pengukuran, kejadian yang dapat atau tidak dapat terjadi atau waktu kejadian tidak tentu, dan pemodelan yang menyederhanakan kondisi sesungguhnya. Ketidakpastian data pengukuran kejadian yang dapat atau tidak dapat terjadi atau waktu kejadian tidak tentu dan pemodelan yang menyederhanakan kondisi sesungguhnya. Ketidakpastian data pengukuran disebabkan pengambilan data yang bias misalnya ketidakpastian pengukuran tegangan tarik, test kekuatan kelelahan dan dalam operasi tingkat, laju korosi dan lain-lain. Kejadian acak jelas banyak didapat dalam lingkungan nyata seperti gempa bumi, tekanan air, angin dan lain-lain. Pemodelan yang disederhanakan seringkali tidak dapat dihindarkan karena beberapa keterbatasan dalam pemodelan fenomena fisik serta kompleksitas masalah yang harus dipecahkan. Selain itu faktor fabrikasi komponen dan konstruksi suatu sistem juga mempunyai pengaruh besar terhadap ketidakpastian.

Permasalahan ketidakpastian akan lebih mudah diselesaikan dengan ilmu peluang untuk membantu pemikiran yang sistematis. Untuk itu dibuat semua kemungkinan yang disebut ruang sampel dan setiap kejadian sebagai komponen / bagian dari ruang sampel yang disebut kejadian (*event*) atau titik sampel. Dengan menghubungkan setiap kejadian yang merupakan bilangan antara 0 hingga 1, menunjukkan pengertian hubungan setiap kejadian yang disebut sebagai peluang kejadian. Bila suatu kejadian diyakini terjadi, maka peluangnya 1, bila diyakini tidak akan terjadi, maka peluangnya 0. Kebanyakan kejadian memiliki peluang nilai antara 0 dan 1. Dalam persamaan matematis nilai peluang suatu kejadian X dapat terjadi dituliskan sebagai $P(X)$. Keuntungan terbesar penerapan metoda probabilistik yang saat ini lebih dikenal dengan analisa resiko dan keandalan adalah perancang akan dapat menghasilkan suatu sistem rekayasa yang lebih efisien dan juga memenuhi kualitas standar yang diharapkan.

3.2 KONSEP ANALISA PELUANG KEANDALAN

Pengertian Probabilitas, Kata probabilitas sering dipertukarkan dengan istilah lain seperti peluang dan kemungkinan. Secara umum probabilitas merupakan peluang bahwa sesuatu akan terjadi. Secara lengkap probabilitas didefinisikan sebagai berikut : *Probability is a measure of a likelihood of the occurrence of a random event.* (Mendenhall and Reimnuth, 1982). Terjemahan bebasnya : Probabilitas adalah suatu nilai yang digunakan untuk mengukur tingkat terjadinya suatu kejadian yang acak. Dalam mempelajari probabilitas, ada 3 kata kunci yang harus diketahui: eksperimen, hasil (*outcome*) dan kejadian atau peristiwa (*event*). Ketiga istilah tersebut sering kita dengar tetapi dalam ilmu statistik ketiga istilah itu mempunyai arti yang spesifik. Probabilitas biasanya dinyatakan dengan bilangan desimal (seperti 0,50, 0,25 atau 0,70)

atau bilangan pecahan (seperti $\frac{5}{10}$, $\frac{25}{100}$, $\frac{70}{100}$). Nilai dari probabilitas berkisar antara 0 dan 1.

Semakin dekat nilai probabilitas ke nilai 0, semakin kecil kemungkinan suatu kejadian akan terjadi. Sebaliknya semakin dekat nilai probabilitas ke nilai 1 semakin besar peluang suatu kejadian akan terjadi. Keandalan adalah peluang suatu struktur untuk melakukan fungsi dan tugas yang disyaratkan tanpa mengalami kegagalan selama kurun waktu tertentu apabila dioperasikan dengan benar dalam lingkungan tertentu (Tjahyono, 2000). Dalam melakukan prediksi keandalan (*Reliability*), distribusi-distribusi yang sering digunakan adalah distribusi normal, eksponensial, dan weibull. Distribusi ini akan mengarahkan pada perhitungan *reliability* melalui fungsi *reliability*. Fungsi *reliability* akan memperlihatkan jumlah keberhasilan dan kegagalan dari item yang diobservasi.

Konsep kondisi batas digunakan untuk mendefinisikan kegagalan itu dalam konteks analisa keandalan struktur. Suatu kondisi batas (*limit state*) adalah suatu batasan antara tingkat harapan dan bukan harapan suatu struktur melaksanakan fungsinya. Batasan ini dalam analisa matematis dikenal sebagai fungsi kondisi batas (*limit state function*). Kinerja yang tidak diharapkan dari struktur dapat terjadi oleh beberapa mode kegagalan seperti retak, korosi, deformasi, beban-beban yang terjadi yaitu beban geser atau momen bending, dan bukling. Dalam pendekatan mode kegagalan ini, pertimbangan secara terpisah akan lebih memudahkan menganalisa kondisi batas. Analisa keandalan struktur membagi kondisi batas ini menjadi tiga (3) type (*Andrzej and Kevin, 2000*), yaitu :

1. *Ultimate limit states* (ULSs) yaitu kondisi batas maksimum struktur beroperasi, berhubungan dengan berkurangnya kapasitas beban maksimum yang dapat diterima struktur, seperti kepecahan karena pengelasan, bukling, berkurangnya keseimbangan secara menyeluruh, kegagalan geser pada struktur, kapasitas momen berlebihan dari yang seharusnya diterima struktur dan kerusakan struktur karena pengaruh tekanan.
2. *Serviceability limit states* (SLSs) yaitu kondisi batas yang masih dapat dipergunakan / dioperasikan dan berhubungan pada semakin berkurangnya fungsi struktur atau karena kerugian selama pemeliharaan. Hal ini secara langsung tidak berhubungan dengan integritas struktur itu sendiri. Beberapa mode kegagalan seperti ini adalah defleksi berlebihan (*excess deflection*) yang masih sering diperdebatkan karena kesesuaian batas adalah subjektifitas dari perancang. Mode kegagalan lainnya adalah getaran yang berlebihan (*excess vibration*) adalah getaran dalam kondisi batas masih dapat diterima akan tetapi kebanyakan sangat sulit untuk diukur. Kriteria yang masih dapat diterima adalah juga merupakan subjektifitas yang tinggi dan menurut persepsi perancang. Mode selanjutnya adalah deformasi permanen (*permanent deformation*) yang berhubungan dengan batasan elastis beban yang berlebihan setisp waktu. Perkiraan deformasi permanen ini dicapai dalam masalah kekakuan. Mode kegagalan terakhir adalah keretakan (*cracking*), yaitu keretakan yang seharusnya tidak berpengaruh pada fungsi struktur itu sendiri. Akan tetapi hal ini berperan pada laju korosi, penetrasi asam dan berkurangnya kekuatan tarik struktur.
3. *Fatigue limit states* (FLSs) yaitu kondisi batas kelelahan struktur, berhubungan pada berkurangnya kekuatan struktur karena pengaruh beban berulang. Kondisi batas kelelahan adalah hubungan dari akumulasi kerugian dan akhirnya struktur mengalami kegagalan akibat beban berulang. Hal ini dapat diselidiki dari komponen struktur dapat mengalami kegagalan di bawah pembebanan berulang pada suatu tingkat terendah dari beban ultimate.

Kebanyakan notasi ambang keamanan (*safety margin*) berhubungan dengan kondisi batas maksimum (ULSs). Sebagai contoh suatu mode kegagalan struktur dapat terjadi ketika momen yang disebabkan beban berlebihan diterima sistem dari kapasitas yang diijinkan. Dari analisa struktur, R menggambarkan tahanan / kekuatan (momen yang diijinkan) atau "penyedia" dan Q didefinisikan sebagai pengaruh beban (momen total yang diterima sistem) atau "permintaan".

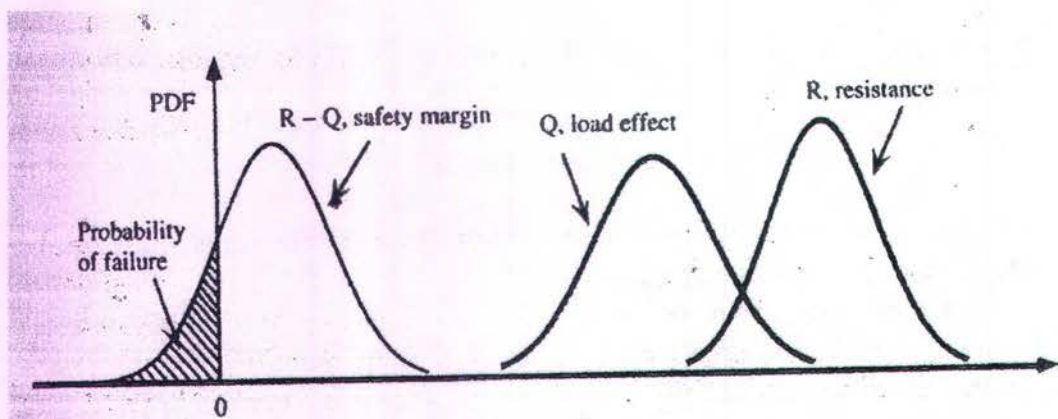
Fungsi kinerja atau fungsi kondisi batas (*limit state function*) dapat dijabarkan dalam mode kegagalan berikut :

$$g(R,Q) = R - Q \quad (3.1)$$

Kondisi batas, merupakan batas antara harapan dan bukan harapan kinerja struktur, hak ini terjadi saat $g = 0$. jika $g \geq 0$, struktur aman (kinerja struktur sesuai dengan harapan), jika $g < 0$, struktur dikatakan tidak aman (kinerja struktur sesuai dengan harapan). Peluang kegagalan, P_f adalah sama dengan peluang bahwa kinerja struktur tidak sesuai harapan akan terjadi. Secara matematis, dapat dijabarkan sebagai fungsi kondisi batas sebagai berikut :

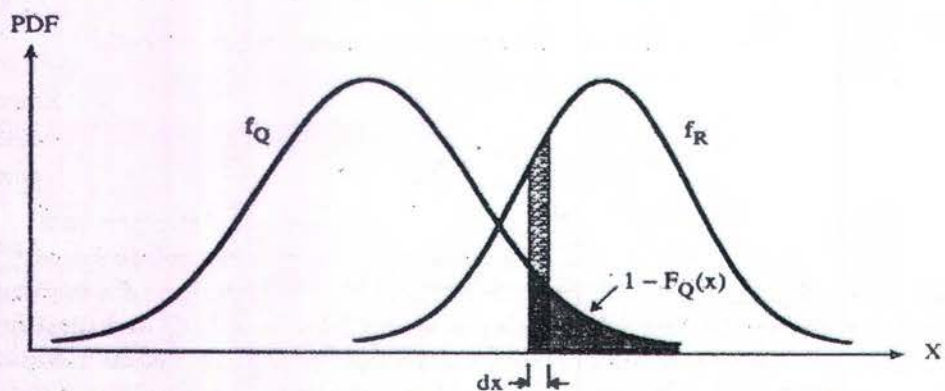
$$P_f = P(R - Q < 0) = P(g < 0) \quad (3.2)$$

jika R dan Q adalah variabel acak, yang masing - masing mempunyai fungsi densitas peluang (PDF) seperti pada Gambar 3.1. selanjutnya, $R - Q$ juga termasuk variabel acak yang dimiliki PDFnya sendiri. Peluang kegagalan ditunjukkan pada daerah yang diarsir pada Gambar 3.1.



Gbr 3.1 PDF untuk beban (Q), kekuatan (R) dan batas keamanan ($P-Q$)

Dalam menentukan peluang kegagalan fungsi kondisi batas dapat dengan mudah dari persamaan 3.1, dimana peluang kegagalan P_f ditentukan oleh fungsi PDF untuk variabel acak P dan Q . Peluang terjadinya kegagalan P_f struktur, apabila beban yang bekerja pada sistem melebihi kekuatan dari sistem atau $P(Q > R)$. seperti pada Gambar 3.2 berikut :



Gbr 3.2 Fungsi Density Peluang Pembebanan (Q) dan kekuatan (R).

Selanjutnya setelah melihat diskripsi diatas secara umum, realitas struktur dapat dikategorikan menjadi dua (2) kategori, yaitu:

1. Kategori struktur aman (*safe*), jika pengaruh beban \leq tahanan
2. Kategori struktur gagal (*failure*), jika pengaruh beban $>$ tahanan

keadaan struktur dapat digambarkan dengan menggunakan variasi parameter X_1, X_1, \dots, X_n , dimana parameter pembebanan dan kekuatan berupa beban tetap (*dead load*), beban dinamis (*life*

load), panjang, kedalaman, kekuatan tekan, kekuatan luluh dan momen inersia. Fungsi kondisi batas, atau fungsi kinerja adalah fungsi $g(X_1, X_1, \dots, X_n)$ dengan parameter sebagai berikut :

$g(X_1, X_1, \dots, X_n) > 0$, untuk struktur aman

$g(X_1, X_1, \dots, X_n) = 0$, batas struktur antara aman dan tidak aman

$g(X_1, X_1, \dots, X_n) < 0$, untuk struktur yang mengalami kegagalan

Ada dua pendekatan dalam menghitung probabilitas yaitu pendekatan yang bersifat objektif dan subjektif. Probabilitas objektif dibagi menjadi dua, yaitu pendekatan klasik dan pendekatan frekuensi relatif.

➤ Pendekatan Klasik

Perhitungan probabilitas secara klasik didasarkan pada asumsi bahwa seluruh hasil dari suatu eksperimen mempunyai kemungkinan (peluang) yang sama. Pada pendekatan ini, kita harus mengetahui terlebih dahulu seluruh kejadian yang akan muncul, yang dalam prakteknya sulit untuk dilaksanakan.

Konsep Frekuensi Relatif

Pendekatan yang mutakhir ialah perhitungan yang didasarkan atas limit dari frekuensi relative.

X	f	fr
X_1	f_1	$\frac{f_1}{n}$
X_2	f_2	$\frac{f_2}{n}$
.	.	.
.	.	.
X_i	f_i	$\frac{f_i}{n}$
.	.	.
.	.	.
X_k	f_k	$\frac{f_k}{n}$
Jumlah	$\sum f_i = n$	$\sum \frac{f_i}{n} = 1$

dimana : fr = frekuensi relatif

X_i = kejadian i

$$P(X_i) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{f_i}{n}$$

Artinya probabilitas suatu kejadian merupakan limit dari frekuensi relatif kejadian tersebut yang secara teoritis berlaku untuk nilai n yang besar sekali (tidak terhingga), misalnya merupakan suatu eksperimen / penelitian dengan sampel yang besar.

Di dalam prakteknya, frekuensi relatif itu sendiri bias digunakan untuk memperkirakan nilai probabilitas. Hal itu dapat ditulis dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Probabilitas terjadinya Suatu kejadian} = \frac{\text{Jumlah / frekuensi terjadinya kejadian tersebut di masa lalu}}{\text{Jumlah observasi}}$$

Probabilitas subjektif didasarkan atas penilaian seseorang dalam menyatakan tingkat kepercayaan. Jika tidak ada pengalaman / pengamatan masa lalu sebagai dasar untuk perhitungan probabilitas, maka pernyataan probabilitas tersebut bersifat subjektif. Hal ini biasanya terjadi dalam bentuk opini atau pendapat yang dinyatakan dalam suatu nilai probabilitas.

3.3 ANALISA STATISTIK UNTUK DATA FATIGUE

Kata "*reliability*" terjemahan Indonesianya adalah kehandalan, *reliable* berarti handal. Kadang arti dan makna katanya tertukar dengan kelayakan / layak (yang berarti *feasibility* / *feasible*). Namun definisi formalnya dari *reliability* adalah : *peluang sebuah komponen, sub-sistem atau sistem melakukan fungsinya dengan baik, seperti yang dipersyaratkan, dalam kurun waktu tertentu dan dalam kondisi operasi tertentu pula*. Karena mengandung kata *peluang*, maka secara inheren didalamnya ada masalah statistik termasuk :

1. *Uncertainty*,
2. *Probability*,
3. *Probability Distributions (Weibull, Normal, Exponensial, Log-normal, dsb)*.

Karena mengandung kata "*melakukan fungsi dengan baik*", maka didalamnya secara inheren pula terdapat faktor kegagalan struktur. Sebab peluang kegagalan dari sebuah struktur (misalnya) adalah kebalikan dari peluang kehandalannya seperti digambarkan dalam ekspresi matematik (*cumulative damage/failure distribution function*) sbb :

$$P_f(t) = 1 - R(t) \text{ atau } R(t) = 1 - P_f(t)$$

Jadi jika kehandalan sebuah struktur adalah $R = 90\%$, maka peluang kegagalan cumulativenya adalah $P_f = 10\%$, atau sebaliknya.

Reliability mengandung kata *waktu*, artinya sebuah komponen yang *reliable* (handal) sekarang belum tentu *reliable* (handal) satu tahun kemudian jika ada :

- 1) mekanisme kerusakan yang beroperasi ("*operative damage mechanism*") dan
- 2) dengan laju kerusakan tertentu (misalnya laju korosi atau aus 0.01 mm/year).

Reliability mengandung faktor *komponen* atau sub-sistem, artinya untuk mengevaluasi sebuah sistem yang lebih besar (terdiri dari subsistem atau komponen), maka *reliability* masing-masing komponen penunjang haruslah dihitung terlebih dahulu baru kemudian dijumlahkan (atau dikalikan) dengan mengacu pada teori penjumlahan / kombinasi peluang (De Morgan's Rule, Bayes Theorem, dsb). Dari sini terlihat bahwa teori *reliability* kadang-kadang melibatkan perhitungan matematika / statistika yang rumit.

Dari sisi teknik, *reliability* diajarkan untuk melihat kehandalan sebuah struktur menerima beban tanpa mengalami kegagalan, yakni dengan menggunakan *limit state concept* (Load Vs Resistance). Probabilitas biasanya dikaitkan dengan konsep maintenance seperti MTBF (*mean time between failure*). Penggunaan distribusi keandalan yang kontinu dalam mendiskripsikan penyebaran data pengujian kelelahan (*fatigue*) secara empiris sangat penting. Pemakaian distribusi ini dalam masalah keandalan sangat tepat seperti yang dilakukan O'Comner (1981), Huagen (1980), Mann et all (1974) dan Lipson (1973). Selanjutnya, penjelasan tentang beberapa distribusi yang sering dipakai, termasuk karakteristik dan pemakaiannya. (Provan, 1987).

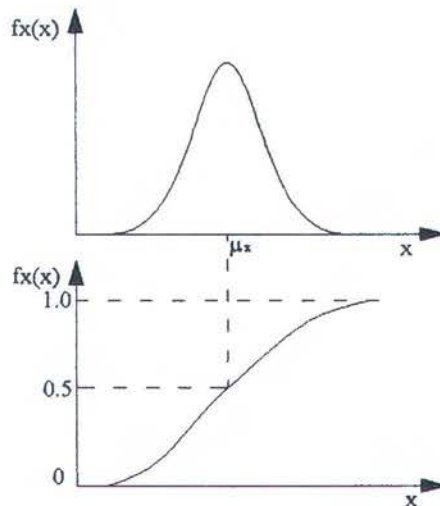
3.3.1 Distribusi Normal

Distribusi normal pertama kali dipelajari pada abad ke-18 ketika model kesalahan (*error*) pengukuran yang telah diobservasi mengikuti secara simetris, distribusi berbentuk lonceng. Hal ini pertama kali disajikan secara matematik pada tahun 1733 oleh DeMoivre, yang diperoleh sebagai sebuah bentuk batasan distribusi binomial. Distribusi tersebut juga diperkenalkan oleh Laplace pada tahun 1775. Meskipun menurut sejarah, hal ini telah diberi tanda oleh Gauss, yang dipublikasikan pertamakali muncul pada tahun 1809, dan istilah distribusi Gauss seringkali digunakan. Berbagai usaha telah dilakukan pada abad ke-18 dan 19 untuk menentukan distribusi ini sebagai dasar hukum probabilitas untuk seluruh jenis kontinu, maka nama normal menjadi dapat digunakan. Distribusi Normal dalam beberapa hal merupakan dasar dari statistik. [Hines, W.W & Montgomery, D.C(1972) }.

Distribusi normal, dimana *cumulative distribution function* (CDF) merupakan salah satu distribusi yang paling sering digunakan dalam model statistik. Hal ini merupakan prinsip dasar dalam penggunaan distribusi yang cocok pada beberapa kuantitas. Distribusi ini mempunyai fungsi sebagai berikut : (Provan, 1987)

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu_x}{\sigma_x} \right)^2 \right] \quad (3.4)$$

Distribusi normal digunakan secara luas. Notasi yang disingkat adalah $X-N(\mu, \sigma)$ sering digunakan untuk menunjukkan bahwa variabel random X adalah berdistribusi normal dengan rata-rata μ dan varian σ^2 dimana μ_x dan σ_x adalah mean dan standar deviasi. Bentuk PDF dan CDF dari distribusi normal ditunjukkan sebagai berikut :



Gbr 3.3 PDF dan CDF untuk distribusi normal (Crowder et all, 1991)

Beberapa sifat penting Distribusi Normal :

1. $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$
2. $f(x) \geq 0$ untuk seluruh X dan $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 0$
3. $f[(x + \mu)] = f[-(x + \mu)]$, densitas tersebut adalah simetris disekitar μ . Karena ekor dari distribusi normal adalah simetris maka lebar ekor sebelah kiri sama dengan sebelah kanannya.
4. Nilai maksimum f terjadi pada $x = \mu$.

5. Titik perubahan dari f adalah pada $x = \mu \pm \sigma$.

Distribusi ini mempunyai karakteristik bahwa bentuk PDF yang simetris dan jumlahan dari nilai rata (mean) = 0. Karena sifat karakteristik itu, distribusi ini banyak digunakan untuk perhitungan lifetime suatu mesin maupun populasi statistik. Untuk konteks keandalan, kasus untuk normalitas tidaklah memberikan hasil yang memuaskan. (Crowder et al, 1991).

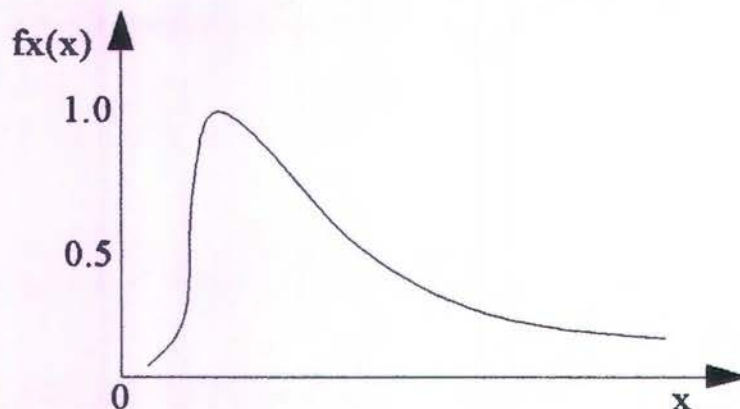
3.3.2 Distribusi Log – Normal

Distribusi lognormal dalam bentuk sederhana adalah fungsi densitas sebuah variabel yang logaritmanya mengikuti hukum distribusi normal. Distribusi lognormal didasarkan pada distribusi normal. Hal ini terlihat dari kombinasi random dengan sebuah proses perkalian.

Distribusi lognormal telah digunakan secara luas dalam berbagai bidang termasuk ilmu fisika, ilmu jiwa, ilmu sosial dan rekayasa. Dalam penerapan rekayasa, distribusi lognormal telah digunakan untuk menggambarkan “laju kegagalan” atau rekayasa keandalan dan “laju keandalan”. Distribusi log – normal merupakan nilai positif dari distribusi normal. Distribusi ini mempunyai fungsi sebagai berikut : (Crowder et al, 1991).

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma_x x \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\log x - \mu_x}{\sigma_x} \right)^2 \right] \quad (3.5)$$

dimana bentuk PDF dari distribusi log – normal pada saat mean = 1 dan $\sigma = 1$ adalah :



Gbr 3.4 PDF untuk distribusi log – normal (Crowder et al, 1991)

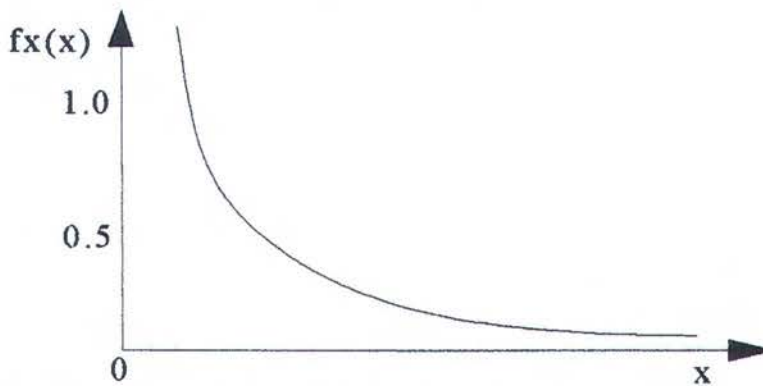
Distribusi ini mempunyai daerah tajam sehingga sering lebih cocok untuk data keandalan, misalnya populasi dengan karakteristik tertentu. Distribusi ini muncul sebagai distribusi terbatas saat sebuah random variabel dihasilkan dari beberapa random variabel yang bebas dan terdistribusi secara identik. Dalam menganalisa keandalan suatu struktur, kenyataannya bahwa distribusi log-normal sangat tergantung dengan proses fisik terjadinya kegagalan yang disebabkan pertumbuhan retak kelelahan. Dengan alasan tersebut, penggunaan distribusi log-normal untuk masalah kegagalan kelelahan menjadi sangat panjang dan perlu adanya klasifikasi lebih lanjut. (Provan, 1987)

3.3.3 Distribusi Exponensial

Distribusi eksponensial merupakan titik awal dari distribusi untuk menghitung keandalan suatu struktur. Dimana mempunyai fungsi densitas berikut: (Crowder et al, 1991).

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad (3.6)$$

dimana λ adalah parameter positif dengan $x > 0$, seperti terlihat pada Gambar 3.5



Gbr 3.5 PDF untuk distribusi eksponensial (Crowder et all, 1991)

Distribusi eksponensial ini bersifat *memoryless* artinya waktu kerusakan komponen tidak tergantung pada berapa lama komponen telah beroperasi. (Crowder et all, 1991). Selain itu, distribusi eksponensial sering digunakan dalam menghitung waktu kelelahan (*time-to-failure*). Pada beberapa kasus, dipilih distribusi eksponensial untuk model kegagalan. Hal ini karena sangat mudah penggunaannya tanpa harus mengetahui kerusakan fisik yang terjadi pada beraneka ragam material. Distribusi eksponensial ini digunakan secara tepat untuk model keandalan seperti sistem yang kompleks, perakitan atau penerapan saat perbaikan pada komponen sebelum terjadi kehancuran.

Terakhir, jika dalam menganalisa keandalan namun mempunyai kasus yang spesial dan tidak dapat dikerjakan dengan distribusi eksponensial, maka untuk menganalisanya digunakan distribusi Weibull.

3.3.4 Distribusi Weibull

Diperkenalkan oleh W. Weibull sebagai sebuah fungsi statistik yaitu *probability density function (PDF)* untuk menginterpretasikan dari data fatigue. Kemudian Kegunaannya sebagai distribusi kegagalan telah diperluas untuk mengatasi berbagai masalah yang lain. Selanjutnya dari semua distribusi statistik yang ada distribusi weibull dianggap sebagai yang paling berharga karena menggambarkan life to failure ketika distribusi initial strength tidak normal dan weibull termasuk satu yang perkiraannya mendekati normal.

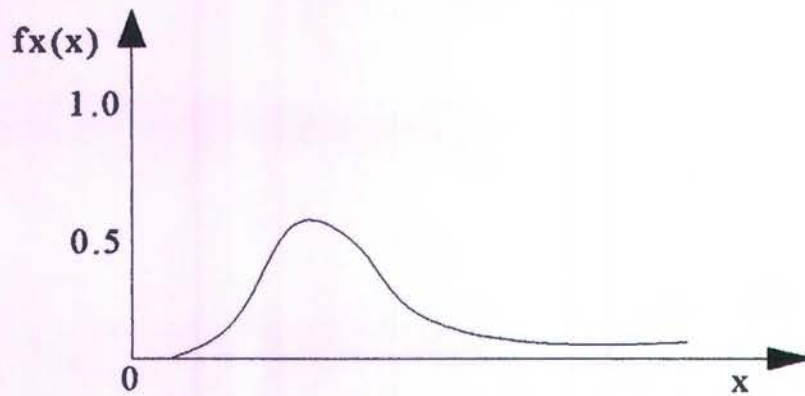
Distribusi Weibull adalah model statistik yang sangat terkenal untuk life data. Banyak digunakan pada berbagai aplikasi lain seperti ramalan cuaca, mencocokkan data sejenis.

Dipakai juga untuk analisa engineering dengan ukuran sampel lebih kecil dari banyak distribusi statistik yang lain. Distribusi Weibull merupakan distribusi yang paling sering digunakan dalam analisa keandalan statistik untuk struktur. Distribusi Weibull sangat flexibel dan secara teoritis dibenarkan pada banyak aplikasi.

Distribusi ini mempunyai fungsi densitas yang berbeda antara nilai terbesar dan nilai terkecil, namun secara umum adalah sebagai berikut :

$$f_X(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha}\right] \quad (3.5)$$

untuk $x > 0$, sedangkan α , β dan γ adalah parameter Weibull. Dimana fungsi tersebut digambarkan sebagai berikut :

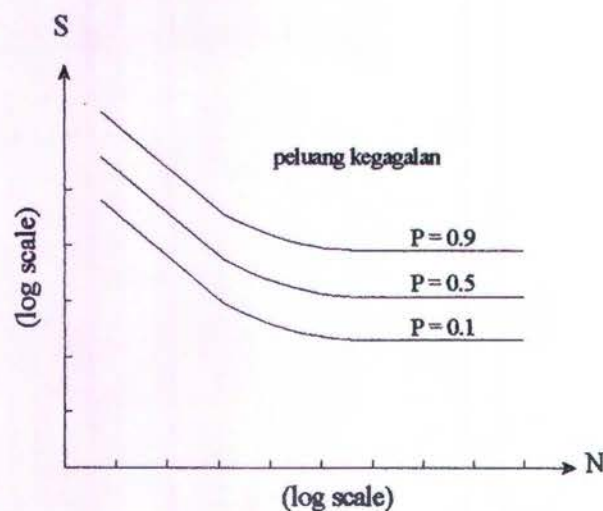


Gbr 3.6 PDF untuk distribusi Weibull (Andrzej and Kevin, 2000)

Penggunaan PDF untuk menafsirkan data kelelahan, dan semenjak itu PDF sering digunakan sebagai aplikasi pada distribusi kegagalan dengan berbagai macam permasalahannya. Semua distribusi dalam ilmu statistik yang ada berasal dari distribusi Weibull karena ini distribusi ini sangat menjabarkan tentang umur kegagalan ketika kekuatan inisial distribusi tidaklah normal dan jangkauannya yang sangat luas termasuk juga saat keadaanya PDF juga normal. (provan, 1987). Penggunaan distribusi Weibull ini sangat luas dalam analisa keandalan struktur. Biasanya digunakan untuk model *lifetime* beberapa tipe, diantaranya tabung pejal, lonceng dan komposite material (Crowder et all, 1991). Serta variasi bentuk dari distribusi ini yang luas dalam kasus keandalan bila dibandingkan distribusi yang lain. Dan data analisa juga bisa diambil secara sekunder dari hasil pengujian (Zahavi, 1996).

3.3.5 Hubungan Antara P - S - N

Pada kurva S-N yang standar dimana digunakan sebagai nilai rata-rata, karena itu, 10% hasil perhitungan keandalan dinyatakan sebagai peluang kegagalan ($P=0.1$). Dalam beberapa pembahasan sebelumnya, analisa statistik memerlukan penyebaran data yang besar, hal ini diperlukan untuk mendapatkan peluang (P) yang lebih akurat. Dengan kata lain, sangat perlu memasukkan peluang (P) dalam hubungan S-N sehingga dapat digambarkan dalam P- S-N seperti Gambar 3.7. (Zahavi, 1996).



Gbr 3.7 Distribusi peluang untuk data S-N

Dari gambar diatas, tipe dari P- S – N diagram ditunjukkan dengan garis yang berbeda sesuai dengan nilai P pada koordinat S-N dan berbentuk lengkungan. Garis P = 0.1 menunjukkan batasan kegagalan dari suatu data struktur hasil pengujian, dimana rumus keandalan suatu struktur (F) adalah sebagai berikut :

$$F = 1 - P \quad (3.6)$$

Karena nilai P yang rendah, kurva paling bawah mengidentifikasi bahwa struktur mempunyai nilai keandalan tertinggi. Nilai terendah pada kurva S-N ditunjukkan keandalan (F) = 0.9 dan Kegagalan (P) = 0.1, artinya 10% peluang kegagalan suatu struktur.

3.4 TEORI PROBABILITAS WEIBULL

Meningkatnya permintaan untuk menjamin operasi yang bebas dari *failure* pada berbagai komponen dan sistem dalam kemajuan teknologi kita. Hal ini membawa kita dalam konsep *reliability* (keandalan) yang mana *reliability* (keandalan) berkaitan pula dengan konsep probability (peluang). Proses random kerusakan material dianjurkan ditentukan dengan suatu peluang atau probabilitas daripada ditentukan dengan pendekatan masalah dengan implementasi sifat material dan desain .

Beberapa pendekatan pada *reliability fatigue* berdasarkan pada konsep kelemahan yang terdiri atas dua perbedaan kasus.

1. kasus yang pertama menyatakan bahwa kelemahan tidak signifikan berasal dari sekitar material .Dalam hal ini tingkat actual kelemahan mempunyai pengaruh yang kecil pada failure dan erat kaitannya dengan rata-rata kekuatan spesimen.
2. kasus yang Kedua berdasarkan keadaan dimana kelemahan signifikan dari sekitar material seperti crack atau sambungan konstruksi. Pada kondisi ini *failure* adalah fungsi dari tingkat kelemahan dari daerah kritis dan kekuatan rata-rata disekitar sambungan (*Provan, 1987*).

Pendekatan pada model keandalan sebagai dasar mengintreprestasikan peluang dalam proses kelelahan telah banyak dilakukan. Seperti, *Birnbaum* dan *Saunders (1969)*, yang menjelaskan tentang suatu distribusi waktu pada sifat kegagalan karena penjalaran retak akibat kelelahan (*fatigue*). Sedangkan *Payne (1972)* mengenalkan suatu model keandalan statistik untuk menguji kekuatan lelah struktur dengan mengevaluasi keragaman acak dalam laju penjalaran

retak dan kekuatan sisa dari struktur yang mengalami keretakan pada beberapa kondisi pengoperasian struktur. Dari permasalahan ini dapat dilihat bahwa penentuan *fatigue life* suatu sambungan struktur tidak hanya ditentukan oleh estimasi *fatigue life* saja akan tetapi probabilitas dan keandalan struktur tersebut juga sangat perlu.

Dalam penelitian ini akan ditentukan keandalan dari sistem konstruksi pada kapal kayu yang mana ada 2 sistem yang dikenal yaitu sistem konstruksi pantek dan sistem overlapp untuk mengetahui seberapa kuat sambungan ini bertahan sampai kegagalan terjadi, dengan terlebih dahulu menerapkan metoda mekanika teknik dan kepecahan untuk menentukan rusak yang terjadi, dan selanjutnya penentuan probabilitas kegagalan sambungan tersebut dengan metode Weibull.

Data percobaan mengindikasikan bahwa variabel acak kontinu menggambarkan kekuatan sambungan dari kedua sistem tersebut yang mana kemudian dilakukan perhitungan dengan mencari nilai rata-rata dari data hasil percobaan tersebut, hal ini tentu saja belum memberikan probabilitas yang andal untuk memprediksi *fatigue life* yang diinginkan dari konstruksi tersebut.

Oleh karena itu perlu dianalisa lagi dengan menggunakan distribusi Weibull. Tiga parameter fungsi densitas peluang Weibull untuk variabel kekuatan acak kontinu disimbolkan dengan Σ , dan diberikan dalam persamaan (*Duffy, 2001*) :

$$f_{\Sigma}(N) = \left(\frac{\alpha}{\beta}\right) \left(\frac{N-\gamma}{\beta}\right)^{(\alpha-1)} \exp\left[-\left(\frac{N-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha}\right] \quad (3.7)$$

untuk $N > \gamma$, dan

$$f_{\Sigma}(N) = 0 \quad (3.8)$$

untuk $N \leq \gamma$.

Pada persamaan (2.2) α adalah modulus Weibull (atau parameter bentuk), β adalah parameter skala Weibull, dan γ adalah parameter lokasi (*threshold*). Distribusi kumulatif Weibull diberikan oleh :

$$F_{\Sigma}(N) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{N-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha}\right] \quad (3.9)$$

untuk $N > \gamma$, dan

$$F_{\Sigma}(N) = 0 \quad (3.10)$$

untuk $N \leq \gamma$.

Jika nilai parameter *threshold* (lokasi) diambil nol. Dalam komponen desain hal ini menggambarkan asumsi kebiasaan, dan memberikan keleluasaan penggunaan formula dua parameter Weibull. Fungsi densitas peluang Weibull ini adalah :

untuk $N > \gamma$.

$$F_{\Sigma}(N) = 0 \quad (3.11)$$

untuk $N \leq 0$.

Sedangkan distribusi kumulatif peluangnya adalah :

$$F_{\Sigma}(N) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{N}{\beta}\right)^{\alpha}\right] \quad (3.12)$$

untuk $N > \gamma$

$$F_{\Sigma}(N) = 0 \quad (3.13)$$

untuk $N \leq \gamma$.

Fungsi keandalan Weibull diberikan oleh persamaan berikut :

$$R(N) = \exp\left[-\left(\frac{N-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha}\right] \quad (3.14)$$

Sedangkan fungsi laju kegagalan diberikan sebagai perbandingan fungsi densitas peluang (persamaan 3.7) dengan fungsi keandalan Weibull (persamaan 3.15), yang diformulasikan sebagai berikut :

$$\lambda(N) = \frac{f(N)}{R(N)} = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{N-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1} \quad (3.15)$$

Mean Time be Failure (MTBF) dari weibull diberikan oleh :

$$MTBF = \gamma + \beta \Gamma\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right) \quad (3.16)$$

Penggunaan distribusi Weibull sangat luas dalam analisa data keandalan dan masa kegagalan oleh karena keunggulannya ini. Ketergantungan pada parameter, distribusi dapat digunakan pada variasi model perilaku masa kegagalan. Parameter-parameter ini berpengaruh pada bentuk kurva fungsi densitas peluang (PDF), keandalan dan laju kegagalan.

Parameter bentuk Weibull α dikenal juga dengan kecondongan / kelandaian, karena nilai parameter ini sama dengan kecondongan pada kurva garis regresi peluang. Perbedaan nilai parameter bentuk dapat ditandai pengaruhnya pada perilaku distribusi. Kenyataannya, beberapa nilai parameter bentuk akan menyebabkan persamaan distribusi berkurang pada distribusi lain. Misalnya, nilai $\alpha = 1$, PDF pada tiga parameter Weibull berkurang membentuk distribusi eksponensial. Persamaan menjadi :

$$f_{\Sigma}(N) = \frac{1}{\beta} \exp \left[- \left(\frac{N - \gamma}{\beta} \right) \right] \quad (3.17)$$

dengan $\frac{1}{\beta} = \eta =$ laju kegagalan (*failure rate*).

3.5 PENGARUH PARAMETER TERHADAP DISTRIBUSI

Penggunaan distribusi weibull yang sangat luas dalam analisa data keandalan dan masa kegagalan. Pemakaian distribusi ini sangat bergantung pada nilai parameter yang menjadi dasar perhitungannya. Selanjutnya nilai parameter tersebut mempengaruhi kurva fungsi densitas peluang (PDF) pada distribusi weibull. Nilai parameter tersebut adalah dibedakan menjadi tiga, yaitu pengaruh nilai parameter bentuk, parameter skala dan parameter lokasi. Adapun penjelasan ketiganya adalah sebagai berikut :

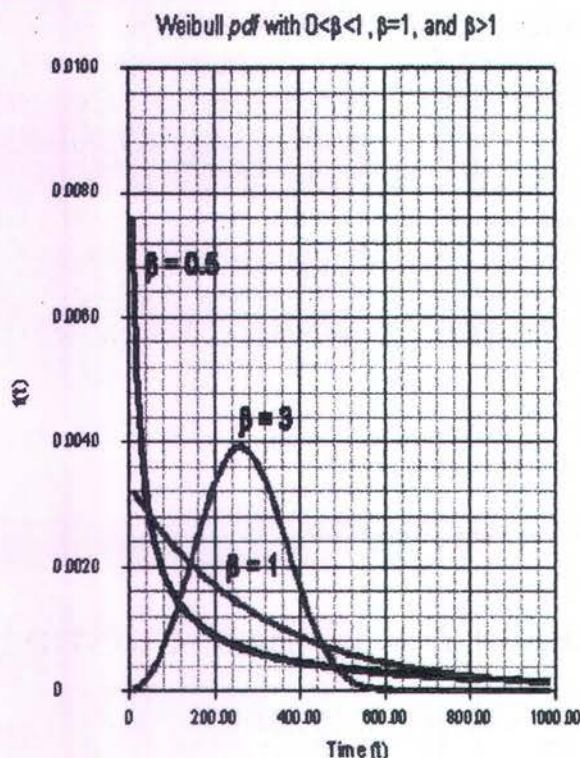
3.5.1 Parameter Bentuk (α)

Parameter bentuk Weibull (α), atau yang kita kenal dengan kecondongan. Hal ini karena nilai parameter bentuk (α) sama dengan kecondongan pada regresi linear dalam kurva probabilitas. Perbedaan nilai dari parameter bentuk dapat ditandai dengan pengaruhnya tingkah laku pada distribusi. Kenyataannya, beberapa nilai dari parameter bentuk akan menyebabkan persamaan distribusi berkurang pada distribusi lainnya. Sebagai contoh, ketika $\alpha = 1$, PDF pada tiga parameter weibull akan berkurang yang akhirnya membentuk dua parameter distribusi eksponensial atau dapat dijabarkan sebagai berikut :

$$f_{\Sigma}(N) = \left(\frac{1}{\beta} \right) \exp \left[- \left(\frac{N - \gamma}{\beta} \right) \right] \quad (3.18)$$

dimana : $\left(\frac{1}{\beta} \right)$ nilai rata kegagalan
parameter α adalah nilai murni, tanpa satuan
Pengaruh α pada kurva PDF

Pengaruh perbedaan nilai parameter bentuk (α) pada bentuk kurva PDF dapat dilihat pada gambar berikut :



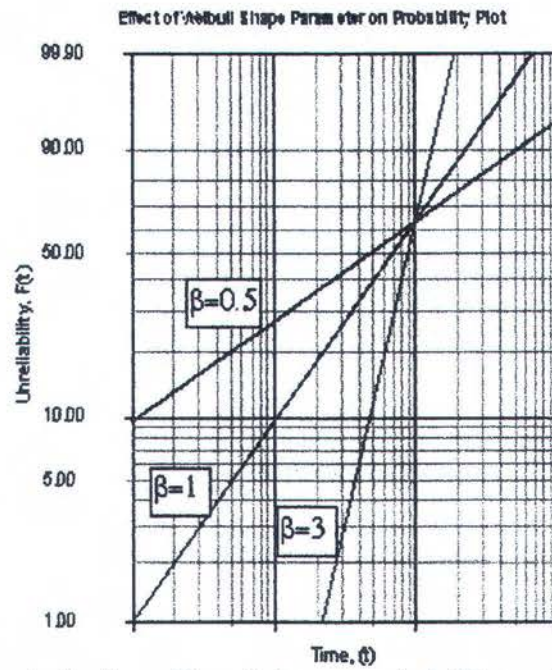
Gbr 3.8 Pengaruh parameter bentuk pada PDF (www.weibull.com)

Dari gambar diatas, dijelaskan bahwa untuk $0 < \alpha < 1$ dapat diketahui bahwa waktu (T) mulai dari 0, maka harga $f(T)$ mempunyai nilai tak hingga dan pada saat nilai T sama dengan tak hingga maka nilai $F(T)$ akan sama dengan nol. $f(T)$ akan mengalami penurunan secara monoton dan cenderung cekung sebagai akibat bertambahnya T yang melebihi nilai parameter lokasi. Model ini jarang ditemui. Untuk $\alpha > 1$, nilai $f(T) = 0$ pada saat $T = 0$. Nilai $f(T)$ akan naik, dan mencapai puncak tertentu pada saat waktu (T) tertentu pula dan setelah itu akan mengalami penurunan secara teratur sampai nilai $f(T) = 0$. Untuk $\alpha < 2.6$ kurva pdf Weibull akan mengalami kenaikan (nilai positif), saat $2.6 < \alpha < 3.7$ punya nilai kurva sama dengan nol dan untuk $\alpha > 3.7$ akan mempunyai arti kurva yang berkebalikan dengan pdf normal, dimana nilainya adalah negatif (menurun).

Nilai parameter bentuk (α) relatif terhadap sifat fisik model dan akan lebih nampak ketika kita melakukan observasi bagaimana perbedaan nilai berpengaruh terhadap keandalan dan fungsi rata kegagalan. Catatan, saat $\alpha = 0.999$ maka nilai $f(0)$ sama dengan tak hingga, tetapi untuk $\alpha = 1.001$ maka nilai $f(0)$ adalah nol. Perbedaan yang tajam ini menyulitkan perkiraan peluang maksimum dengan nilai α diabaikan salah satunya.

Pengaruh α pada kurva CDF dan Fungsi Keandalan

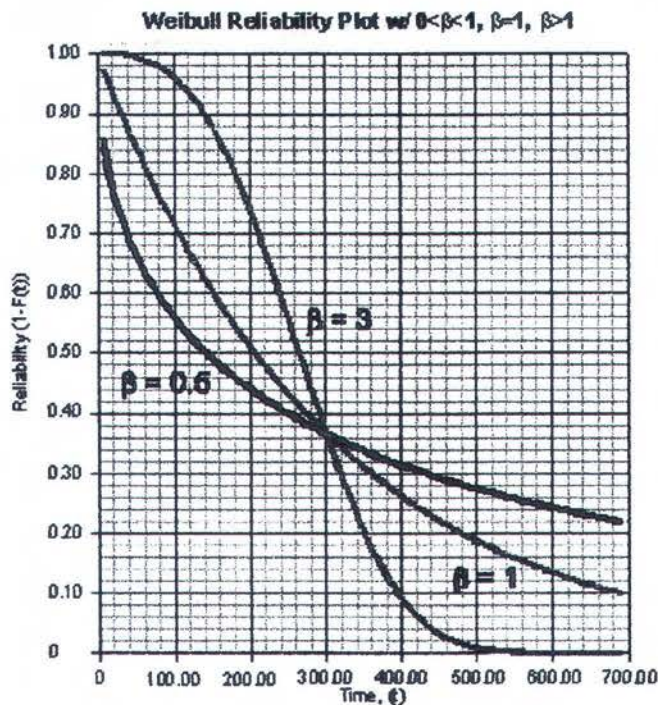
Pengaruh parameter α terhadap Cumulative Distribution Function (CDF) dapat dilihat dalam gambar berikut :



Gbr 3.9 Pengaruh α terhadap cdf pada kurva probabilitas weibull dengan nilai β tetap. (www.weibull.com)

Dari Gambar 3.9 diatas, menunjukkan pengaruh nilai α pada cdf, pada kurva probabilitas Weibull. Dimana dapat mudah dilihat mengapa parameter ini kadang – kadang disebut kecondongan / kelandaian. Sebagai catatan, model ini digambarkan oleh tiga garis yang semuanya mempunyai nilai β adalah sama.

Sedangkan pengaruh variasi nilai parameter bentuk (α) terhadap kurva keandalan Weibull, dimana analog linier dengan kurva probabilitas ditunjukkan pada gambar berikut:



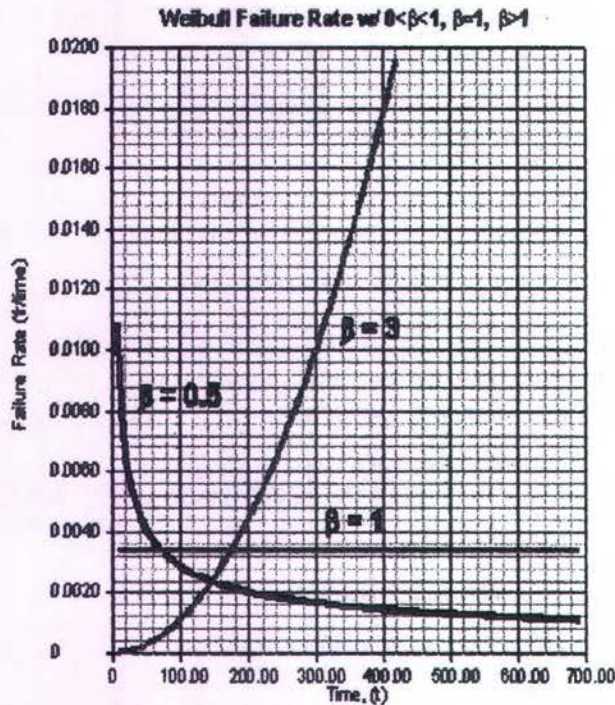
Gbr 3.10 Pengaruh nilai parameter bentuk pada kurva keandalan. (www.weibull.com)

Dari gambar diatas, pada saat nilai parameter bentuk (α) adalah $0 < \alpha < 1$, maka kurva R (T) akan menurun tajam dan monoton dan kurva cenderung cembung. Untuk nilai $\alpha = 1$,

grafik $R(T)$ akan menurun monoton tetapi tidak setajam penurunan untuk $0 < \alpha < 1$ dan grafik masih cembung. Sedangkan untuk $\alpha > 1$, $R(T)$ akan mengalami penurunan seiring kenaikan waktu (T). Dan pada saat T tertentu, maka masing – masing kurva akan mempunyai titik temu (*inflection point*), khusus untuk garis $\alpha > 1$ setelah titik inleksi tersebut akan terjadi penurunan yang sangat tajam.

Pengaruh α pada kurva CDF dan Fungsi laju kegagalan Weibull

Nilai parameter bentuk (α) mempunyai pengaruh pada laju kegagalan distribusi Weibull dan berpengaruh terhadap penggambaran tentang karakter daerah kegagalan sehingga dapat kita jadikan acuan apakah harga α kurang dari satu, sama dengan satu atau lebih dari satu. Untuk dapat mengetahui pengaruh parameter bentuk terhadap laju kegagalan, maka dapat dilihat sebagai berikut :



Gbr 3.11 Pengaruh parameter bentuk pada fungsi laju kegagalan Weibull. (www.weibull.com)

Dari gambar diatas, daerah dengan harga parameter bentuk $\alpha < 1$ diketahui bahwa laju kegagalan menurun seiring bertambahnya waktu, sementara untuk $\alpha = 1$ mempunyai laju kegagalan yang konstant (sama halnya dengan distribusi eksponensial) dan untuk nilai $\alpha > 1$ mempunyai laju kegagalan akan bertambah seiring bertambahnya waktu. Ketiga garis tersebut merupakan model dari distribusi weibull dengan variasi nilai α .

Laju kegagalan Weibull untuk $0 < \alpha < 1$ punya nilai yang tak terbatas pada saat $T = 0$. Laju kegagalan $\lambda(T)$ akan menurun secara monoton dan berbentuk cembung, sampai mendekati nilai nol sehingga T mempunyai nilai yang tak hingga (∞) atau $\lambda(\infty) = 0$. sifat ini menggambarkan laju kegagalan tiap tipe unit kegagalan yang muncul lebih awal, yang mana laju kegagalannya akan menurun dengan bertambahnya waktu. Pada saat keadaan seperti ini dalam suatu produk industri, laju kegagalan mengidentifikasi adanya masalah dalam proses produksi, tidak sesuai standar komponen maupun bagian atau juga masalah pada saat pengepakan dan pengiriman.

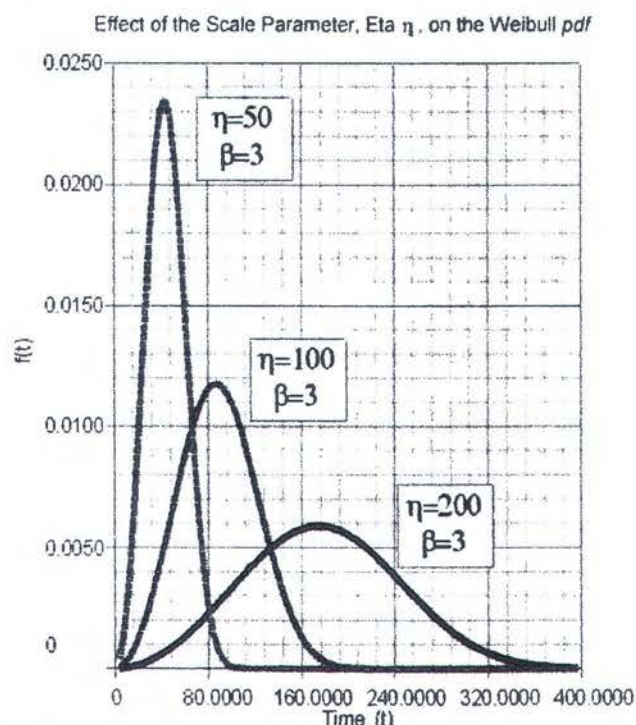
Untuk $\alpha = 1$ mempunyai nilai laju kegagalan $\lambda(T)$ yang konstan, hal ini menggambarkan kesesuaian untuk laju kegagalan yang aman suatu produk pada tipe kegagalan dan sering digunakan untuk menghitung periode kegunaan produk dengan laju kegagalan per unit.

Untuk $\alpha > 1$, laju kegagalan $\lambda(T)$ naik seiring dengan bertambahnya waktu (T) dan sesuai untuk menggambarkan laju kegagalan tiap unit tipe kegagalan yang mengalami kerusakan. Sedangkan untuk $0 < \alpha < 1$, kurva laju kegagalan $\lambda(T)$ adalah cekung, akibatnya laju kegagalan naik bertambah pada laju yang turun saat waktu (T) bertambah.

Untuk $\alpha = 2$, ada satu garis lurus yang menyatakan hubungan antara $\lambda(T)$ dan waktu (T), dimulai pada saat nilai $\lambda(T) = 0$ pada $T = \gamma$, dan kemudian akan naik dengan kemiringan $2 / \gamma^2$. Akibatnya, laju kegagalan akan naik dengan laju konstan sebagai fungsi pertambahan waktu (T). Selanjutnya, jika $\gamma=1$ kelandaian akan sama dengan 2 dan ketika $\gamma = 0$, laju kegagalan $\lambda(T)$ membentuk garis lurus yang melewati titik asal dengan nilai kelandaian 2. Catatan, saat $\alpha = 2$, penurunan persamaan distribusi Weibull seperti pada *distribusi Rayleigh*. Ketika $\alpha > 2$, kurva laju kegagalan $\lambda(T)$ berbentuk cembung, dengan kelandaian yang meningkat seiring bertambahnya waktu (T). Akibatnya, laju kegagalan naik sebagai fungsi bertambahnya waktu (T) dan mengidentifikasi waktu sampai mengalami kerusakan.

3.5.2 Parameter Skala (β)

Pengaruh nilai parameter skala (β) terhadap PDF distribusi Weibull nampak seperti gambar dibawah ini :



Gbr 3.12 Pengaruh nilai parameter skala pada pdf Weibull (www.weibull.com)

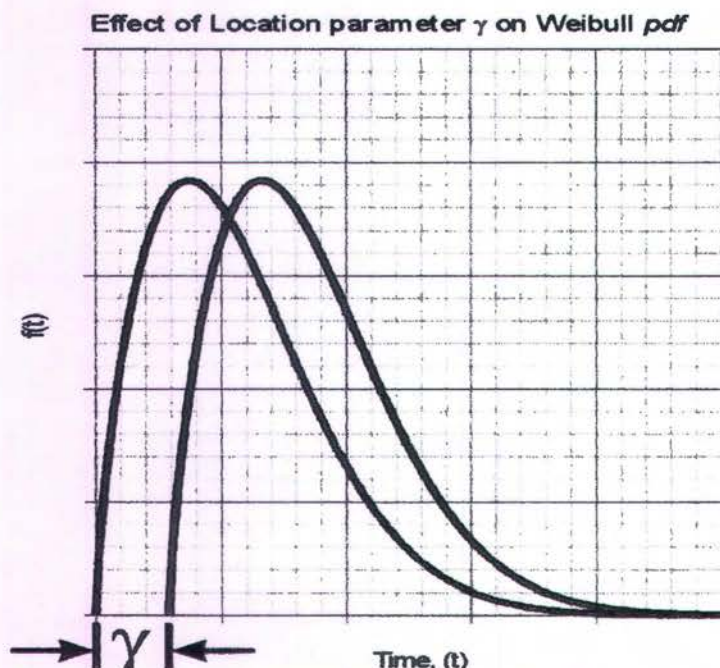
Dari gambar diatas, nilai parameter bentuk (α) adalah konstan dengan nilai parameter skala yang berubah, sehingga berdampak pada bidang hasil kurva pdf (*probability distribution function*). Sehingga area dibawah masing – masing kurva diatas adalah mempunyai nilai yang sama dengan satu (1) sedangkan titik puncak “peak” dari kurva tersebut dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya nilai parameter skala akan mengalami penurunan nilai.

Kelandaian / kecondongan dari kurva diatas, semakin kecil nilai parameter skala mempunyai kecenderungan untuk naik secara drastis nilai pdf – nya dan akan turun secara tajam juga sampai nilai nol. Selanjutnya, semakin besar nilai parameter skala maka kenaikan kurva akan cenderung landai dan monoton dengan puncak yang tidak terlalu

tinggi setelah itu turun dengan kelandaian yang sama pada saat naik tersebut. Nilai pdf sama dengan nol saat waktu (T) tidak mempunyai nilai batasan (tak hingga).

3.5.3 Parameter Lokasi (γ)

Secara tidak langsung, parameter lokasi (γ) menyatakan lokasi distribusi sepanjang sumbu absis. Perubahan nilai parameter lokasi (γ) akan berpengaruh pada "kemiringan" distribusi dan ini merupakan fungsi baik kurva sebelah kanan (jika $\gamma > 0$) ataupun kurva sebelah kiri (jika $\gamma < 0$).



Gbr 3.13 Pengaruh nilai parameter lokasi PDF Weibull (www.weibull.com)

Dari gambar diatas, ketika nilai $\gamma = 0$ permulaan distribusi pada waktu $T = 0$, atau dari titik mula. Jika $\gamma > 0$, distribusi dimulai pada saat daerah γ ada pada sebelah kanan titik asal. Jika $\gamma < 0$, distribusi dimulai pada saat daerah γ berada pada sebelah kiri titik asal. Dengan demikian telah menggambarkan bahwa γ telah memberikan suatu perkiraan awal waktu sampai terjadinya kegagalan tiap unit dari hasil pengujian. Parameter lokasi (γ) harus mempunyai nilai lebih kecil atau sama dengan waktu pertama kali terjadinya kegagalan. Periode waktu 0 sampai $+\gamma$ adalah periode operasi yang tidak terjadi kegagalan. Parameter lokasi (γ) diasumsikan memberikan perkiraan awal waktu dimulainya percobaan kegagalan. Nilai (γ) negatif mengidentifikasi kegagalan yang terjadi tinggi dari data permulaan pada periode analisa. Sebagai contoh kegagalan selama proses produksi, penyimpanan, pemindahan, selama pemeriksaan sebelum dilakukan inspeksi atau sebelum penggunaan produk tersebut. Parameter lokasi mempunyai satuan t , seperti jam, mil, cycle dan lain lain.

Dalam penggunaan parameter pada distribusi Weibull, kita harus dapat mengetahui kapan kita menggunakan tiga parameter tersebut. Ada dua alasan utama, yang pertama, kita harus yakin bahwa nilai parameter lokasi tidak sama dengan nol untuk suatu product maupun komponen yang telah dilakukan pengujian. Yang kedua, buatlah titik pada kurva atau garis lurus pada 2 parameter distribusi Weibull, jika poin telah diletakkan pada kurva tersebut dan kita analisa nilai γ tidak sama dengan nol, maka kita gunakan 3 parameter Weibull.

3.6 PROSEDUR PERHITUNGAN PARAMETER WEIBULL

Dalam perhitungan probabilitas dengan menggunakan distribusi Weibull, langkah pertama yang harus dilakukan adalah perhitungan parameter – parameter weibull. Parameter weibull ada 3 (tiga) yaitu α (*shape parameter*) atau parameter bentuk, β (*scale parameter*) atau parameter skala Weibull dan γ (*location parameter*) atau parameter lokasi. Pasangan parameter Weibull tersebut nantinya kita pakai untuk perhitungan probabilitas dan laju keandalan Weibull. Adapun prosedur perhitungan parameter untuk tiga pasangan uji fatigue dijabarkan sebagai berikut (Duffy, 2001) ;

1. Sortir data mentah, yaitu tiap cycle tegangan lelah (N_i) dari yang terkecil dan diakhiri yang terbesar dari hasil pengujian fatigue
2. Menghitung peluang ranking P_i tiap data mentah.

$$P_i = \frac{i - 0.5}{n} \quad (3.19)$$

3. Menghitung variable bantu w_i untuk tiap-tiap peluang ranking P_i

$$w_i = \ln\left(\frac{1}{1 - P_i}\right) \quad (3.20)$$

4. Menghitung parameter β

$$\beta = \frac{n \left[\sum_{i=1}^n N_i (w_i)^{1/\alpha} \right] - \left[\sum_{i=1}^n N_i \right] \left[\sum_{i=1}^n (w_i)^{1/\alpha} \right]}{n \sum_{i=1}^n (w_i)^{2/\alpha} - \left[\sum_{i=1}^n (w_i)^{1/\alpha} \right] \left[\sum_{i=1}^n w_i \right]} \quad (3.21)$$

5. Menghitung parameter γ

$$\gamma = \frac{\left[\sum_{i=1}^n N_i \right] \left[\sum_{i=1}^n (w_i)^{2/\alpha} \right] - \left[\sum_{i=1}^n N_i (w_i)^{1/\alpha} \right] \left[\sum_{i=1}^n (w_i)^{1/\alpha} \right]}{n \sum_{i=1}^n (w_i)^{2/\alpha} - \left[\sum_{i=1}^n (w_i)^{1/\alpha} \right] \left[\sum_{i=1}^n w_i \right]} \quad (3.22)$$

Baik persamaan β dan persamaan γ , sama-sama membutuhkan parameter α dan untuk variable acak yang besar ditentukan mula-mula $\alpha = 1$. Lanjutkan dengan menghitung β dan γ , jika kurang memuaskan coba naikkan harga α , hitung lagi β dan γ . Kemudian dilakukan iterasi demikian sampai tercapai hasil yang memuaskan.

6. Untuk menghindari kriteria yang “memuaskan” yang subjektif, teknik Sum Squared Residual (SSR) digunakan untuk mengevaluasi setiap pasangan parameter α , β , dan γ . Hitung cycle tegangan (N_i) yang dihubungkan dengan peluang ranking kegagalan (P_i), dengan mengasumsikan kondisi tegangan uniaxial dalam spesimen uji dengan persamaan

$$\bar{N}_i = \gamma + \beta \left[\ln\left(\frac{1}{1 - P_i}\right) \right]^{1/\alpha} \quad (3.23)$$

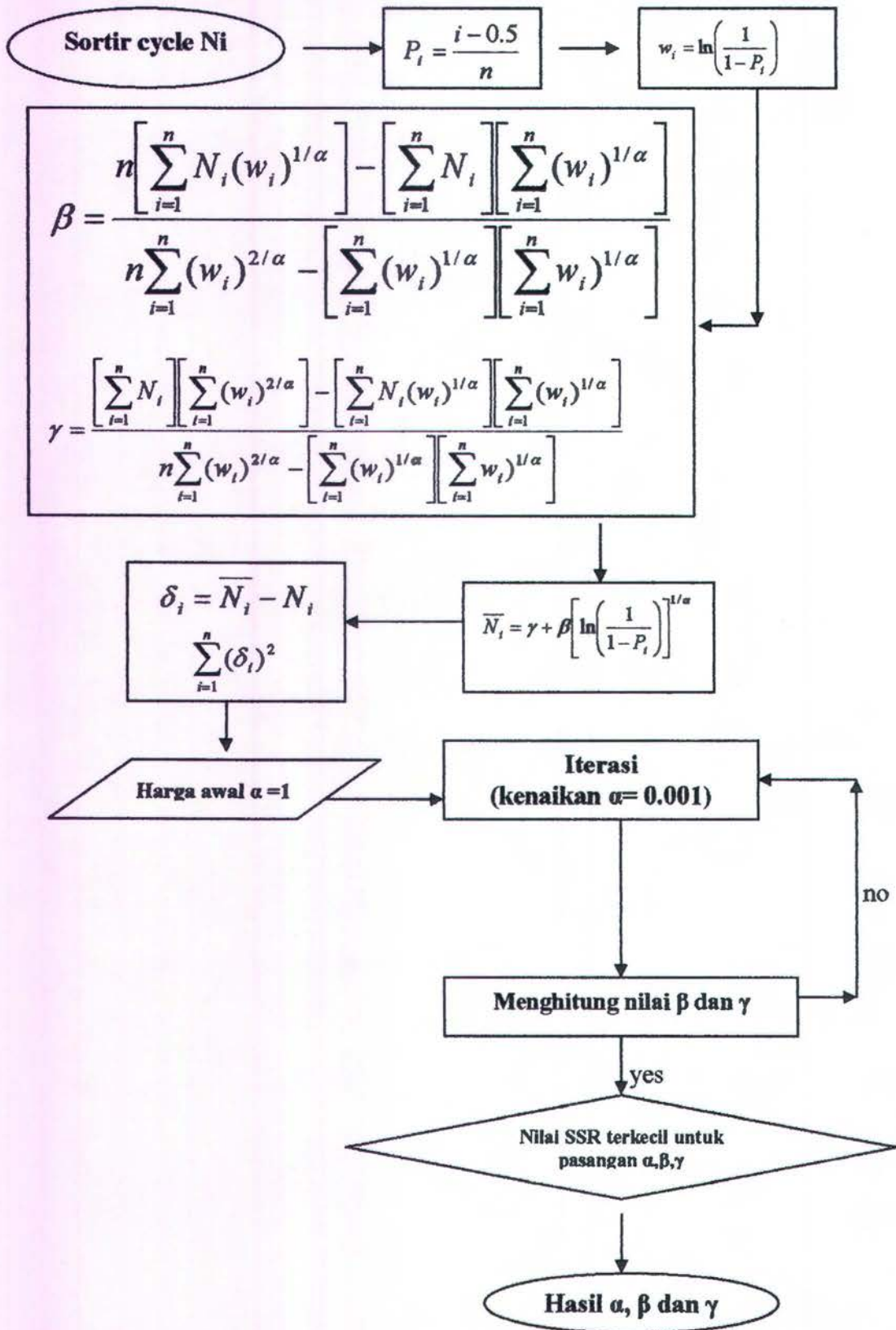
7. Residual dinyatakan dengan selisih antara nilai estimasi dengan data mentah N_i , dinyatakan sebagai berikut ;

$$\delta_i = \bar{N}_i - N_i \quad (3.24)$$

8. Sum Squared Residual (SSR) dinyatakan sebagai berikut ;

$$\sum_{i=1}^n (\delta_i)^2 = \sum_{i=1}^n (\gamma + \beta (w_i)^{1/\alpha} - N_i)^2 \quad (3.25)$$

9. Kriteria memuaskan bagi parameter α , β , dan γ adalah yang menghasilkan SSR terendah.



Gbr 3.14 Diagram Alir analisa Probabilitas dengan distribusi Weibull.

3.7 PROSEDUR PERHITUNGAN KEANDALAN WEIBULL

Setelah tiga parameter Weibull diketahui dari hasil iterasi dan perhitungannya, langkah selanjutnya adalah menghitung keandalan Weibull. Fungsi dari keandalan Weibull memerlukan *input* data tiga parameter Weibull dan data hasil pengujian fatigue tiap spesimen yang dibuat dalam kurva S-N. Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut : (Duffy, 2001) .

⇒ Fungsi densitas Peluang (PDF)

$$f_{\Sigma}(N) = \left(\frac{\alpha}{\beta}\right) \left(\frac{N-\gamma}{\beta}\right)^{(\alpha-1)} \exp\left[-\left(\frac{N-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha}\right] \quad \text{Untuk } N > \gamma \quad (3.26)$$

⇒ Fungsi distribusi kumulatif (CDF)

$$f_{\Sigma}(N) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{N-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha}\right] \quad \text{Untuk } N > \gamma \quad (3.27)$$

⇒ Fungsi keandalan weibull

$$R(N) = \exp\left[-\left(\frac{N-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha}\right] \quad \text{Untuk } N > \gamma \quad (3.28)$$

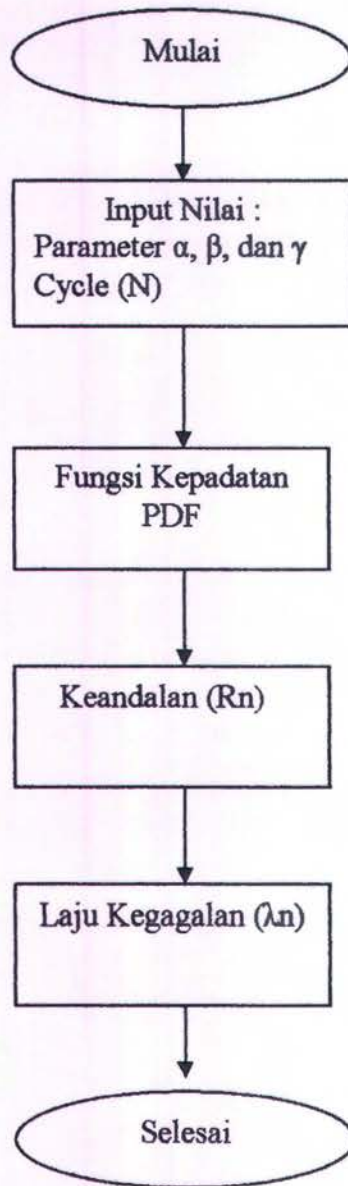
⇒ Fungsi laju kegagalan

$$\lambda(N) = \frac{f(N)}{R(N)} = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{N-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1} \quad \text{Untuk } N > \gamma \quad (3.39)$$

⇒ Cycle tegangan untuk fungsi peluang atau MTBF

$$\bar{N}_i = \gamma + \beta \Gamma\left[1 + \left(\frac{1}{\alpha}\right)\right] \quad (3.30)$$

Sedangkan aliran perhitungan keandalan Weibull adalah sebagai berikut :



Gbr 3.15 Aliran Perhitungan Keandalan Weibull

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 ANALISA DATA

Penentuan probabilitas kerusakan dari konstruksi lambung sistem pantek dan sistem overlapping dilakukan dengan mengambil data dari hasil pengujian fatigue life yang telah dilakukan di laboratorium konstruksi dan kekuatan FTK-ITS. Pengujian dilakukan pada kedua sistem konstruksi tersebut dimana pembebanan dihentikan saat papan mengalami retak (rusak) dibagian bawah spesimen karena apabila pembebanan tidak dihentikan maka lama-kelamaan retak yang terjadi akan bertambah panjang dan papan akan pecah (rusak total). Kedua data yang diambil memiliki kesamaan dimensi panjang (L) = 600 mm, jarak dari netral aksis (Y) = 62.1 mm dan momen inersia (I) = 4641428.6 mm⁴.

Langkah-langkah perhitungan fatigue life

1. Data diambil dari hasil pengujian fatigue life pada kedua sistem konstruksi tersebut disebut data primer. Pengujian fatigue beban yang digunakan adalah dari data hasil pengujian bending yang berkisar antara 30% sampai 80% dari beban maksimum pada pengujian bending.

❖ Untuk Konstruksi Lambung dengan Sistem Overlapping

Beban tertinggi $80\% * 30000 = 24000 \text{ N}$
Beban terendah $30\% * 27000 = 8500 \text{ N}$

Adapun Beban yang digunakan pada pengujian fatigue untuk tiap-tiap specimen system overlap seperti tabel-tabel berikut (*surahman,2006*)

Tabel 4.1 Beban Untuk Pengujian Fatigue

Spesimen Uji	Beban (N)
Spesimen 1	24000
Spesimen 2	21000
Spesimen 3	17000
Spesimen 4	13000
Spesimen 5	8500

Dari hasil pengujian fatigue didapatkan data-data sebagai berikut:

Tabel 4.2 Tabel Hasil Pengujian Fatigue: (*surahman,2006*)

No Spesimen	Beban (N)	Tegangan (N/mm ²)	Umur kelelahan (Cycle)
1	24000	24.08	46422
2	21000	21.07	75503
3	17000	17.06	122856
4	13000	13.04	456565
5	8500	8.53	756230

- ❖ Untuk Konstruksi Lambung dengan Sistem Pantek
 - Beban tertinggi $80\% * 22000 = 17600 \text{ N}$
 - Beban terendah $30\% * 22000 = 6600 \text{ N}$

Adapun Beban yang digunakan pada pengujian fatigue untuk tiap-tiap specimen system overlap seperti tabel-tabel berikut (Fitryah, 2006)

Tabel 4.3 Beban Untuk Pengujian Fatigue (N)

Spesimen Uji	Beban (N)
Spesimen 1	17600
Spesimen 2	14300
Spesimen 3	11000
Spesimen 4	6600

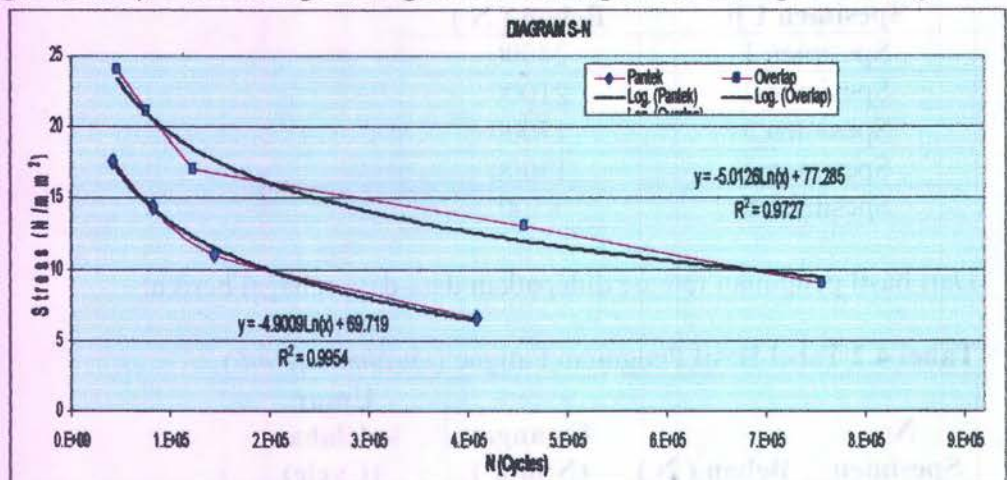
Dari hasil pengujian fatigue didapatkan data-data sebagai berikut:

Tabel 4.4 Tabel Hasil Pengujian Fatigue (Fitryah, 2006)

No Spesimen	Beban (N)	Tegangan (N/mm ²)	Umur Kelelahan (cycle)
1	17600	17.57	42240
2	14300	14.05	81974
3	11000	11.04	143652
4	6600	6.52	408490

Pada table diatas dapat dilihat bahwa tegangan antara specimen mengalami penurunan. Karena beban yang digunakan sudah direncanakan turun secara teratur (15-20%) sedangkan umur kelelahan (cycle) mengalami kenaikan seiring penurunan tegangan.

- Membuat hasil perhitungan tegangan yang didapat kedalam bentuk grafik S-N dimana sumbu absis(x) menyatakan harga Cycle (N) dan sumbu ordinat (y) menyatakan harga tegangan (stress). Dari hasil gambar grafik S-N didapat dua buah grafik sebagai berikut:



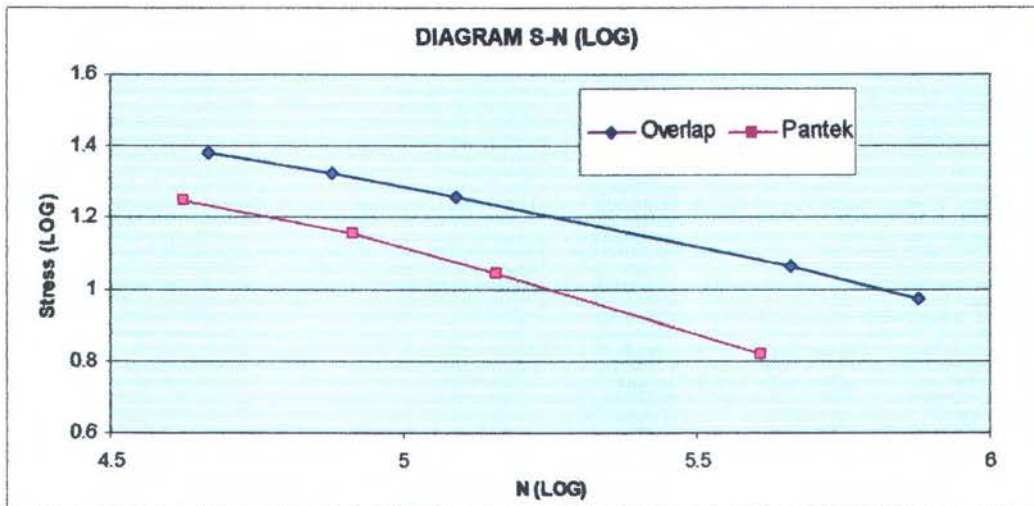
Gbr 4.1 Grafik Diagram S-N

Diagram S-N adalah diagram yang menunjukkan hubungan antara Stress(tegangan) yang terjadi dengan banyaknya cycle, yang mana pada grafik diatas untuk kedua sistem konstruksi didapat dari hasil pada tiap-tiap specimen kemudian dihubungkan tiap titik

dari spesimen-spesimen sehingga didapatkan grafik seperti gambar diatas. Harga tegangan didapatkan dengan melakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{My}{I} \qquad M = \frac{Pl}{8}$$

dimana : M = momen bending (N mm)
 y = Jarak Netral aksis (mm)
 I = Momen Inersia (mm⁴)
 l = Panjang Spesimen (mm)



Gbr 4.2 Grafik Diagram S-N (log)

Pada pengujian fatigue life pembebanan diatas 24000 untuk overlapping dan 17600 N untuk pantek dilakukan kemungkinan kurva fatigue (diagram S-N) akan memiliki asimtot horizontal disisi atas. Apabila pengujian dilakukan untuk beban dibawah 8500 N untuk overlapping dan 6600 N untuk pantek akan sangat memungkinkan terjadinya fatigue limit yaitu batas kelelahan material yang apabila diuji tidak akan mengalami kerusakan cycle berapaun pada suatu harga beban tertentu dan kurva fatigue (diagram S-N) akan memiliki asimtot horizontal pada sisi bawah, jadi pengujian dihentikan dengan menganggap bahwa material tersebut akan memiliki umur tak hingga. Kecenderungan ini biasanya berlaku pada material selain kayu tetapi tidak tertutup kemungkinan kayu juga mengalaminya. Kelelahan pada kayu tidak memiliki aturan yang baku, karena itu prinsip kelelahanya mengacu pada material logam.

3. Selanjutnya diambil nilai tegangan yang sama pada kedua grafik S-N tersebut untuk kemudian ditarik garis horizontal lurus memotong tiap-tiap grafik kemudian ditarik garis lurus ke bawah kearah sumbu-x sehingga didapat harga cycle (N) atau dengan cara memasukan harga tegangan yang akan dibandingkan pada sumbu (y) kedalam persamaan garis pada grafik S-N diatas. Dari grafik Diagram S-N diatas didapat persamaan pada kedua kurva dari konstruksi lambung dengan system pantek dan overlapping. Persamaan yang didapat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Sistem Overlapping: } y &= -5,0144 \ln(x) + 78,773 & \longrightarrow & x = 2,71828^{(y-78,773)/-5,0144} \\ \text{Sistem Pantek} &: y = -4,9009 \ln(x) + 69,719 & \longrightarrow & x = 2,71828^{(y-69,719)/-4,9009} \end{aligned}$$

Dari kedua persamaan diatas dengan memasukkan tegangan yang akan dibandingkan dari kedua system konstruksi tersebut maka didapatkan harga Cycle (N) sebagai berikut:

Tabel 4.5 Harga Cycle yang didapat

Tegangan (S)	Overlap	Pantek
N/mm ²	N1	N2
8	1118077	288923
10	752414	191564
11	617233	155984
12	506340	127012
13	415369	103421
14	340743	84212
15	279524	68571
16	229304	55835
17	188107	45464

4. Dari hasil perhitungan diatas didapat harga maximum dan minimum yang mana data diatas yang akan digunakan dalam perhitungan distribusi weibull. Dimana banyaknya data bergantung dari interval yang dipilih. Untuk 20 data didapat sebagai berikut:

Tabel 4.6 Hasil sortir data

N	Overlapp (Cycle)	Pantek (Cycle)
N1	100000	45000
N2	150000	57789
N3	200000	70578
N4	250000	83367
N5	300000	96156
N6	350000	108945
N7	400000	121734
N8	450000	134523
N9	500000	147312
N10	550000	160101
N11	600000	172890
N12	650000	185679
N13	700000	198468
N14	750000	211257
N15	800000	224046
N16	850000	236835
N17	900000	249624
N18	950000	262413
N19	1000000	275202
N20	1050000	288000

Maka dapat dilakukan perhitungan untuk mencari Probabilitas kerusakan yang terjadi dengan menggunakan metode Distribusi weibull sebagai berikut:

4.2 PERHITUNGAN PARAMETER WEIBULL

Dengan menggunakan data sekunder hasil perhitungan *fatigue life* pada S-N diagram, maka langkah selanjutnya adalah melakukan penaksiran Parameter Weibull dilakukan dengan proses iterasi sesuai dengan langkah perhitungan pada BAB III. Untuk mempermudah iterasi dilakukan dengan menggunakan bantuan komputer dan pemrograman. Adapun langkah dan perhitungan parameter Weibull untuk Kedua sistem konstruksi tersebut sebagai berikut:

- Sortir data N_i (cycle) dari terkecil sampai yang terbesar. Dengan nilai N awal adalah 100000 Cycle dan nilai batas kegagalan adalah 1050000 cycle. Lihat **tabel 4.6**
- Membuat ranking peluang dari tiap-tiap harga cycle dengan rumus:

$$P_i = \frac{i-0.5}{n} \quad \text{maka hasil yang didapat ranking data sebagai berikut:}$$

Peluang	Nilai
P_{i_1}	0.025
P_{i_2}	0.075
$1P_{i_3}$	0.125
P_{i_4}	0.175
P_{i_5}	0.225
P_{i_6}	0.275
P_{i_7}	0.325
P_{i_8}	0.375
P_{i_9}	0.425
$P_{i_{10}}$	0.475
$P_{i_{11}}$	0.525
$P_{i_{12}}$	0.575
$P_{i_{13}}$	0.625
$P_{i_{14}}$	0.675
$P_{i_{15}}$	0.725
$P_{i_{16}}$	0.775
$P_{i_{17}}$	0.825
$P_{i_{18}}$	0.875
$P_{i_{19}}$	0.925
$P_{i_{20}}$	0.975

- Menghitung Variabel Bantu W_i tiap ranking P_i dengan rumus:

$$w_i = \ln\left(\frac{1}{1-P_i}\right) \quad \text{maka hasil yang didapat:}$$

w_i	Nilai
w_{i_1}	0.025
w_{i_2}	0.078
w_{i_3}	0.134
w_{i_4}	0.192
w_{i_5}	0.255
w_{i_6}	0.322
w_{i_7}	0.393
w_{i_8}	0.470

w_{i9}	0.553
w_{i10}	0.644
w_{i11}	0.744
w_{i12}	0.856
w_{i13}	0.981
w_{i14}	1.124
w_{i15}	1.291
w_{i16}	1.492
w_{i17}	1.743
w_{i18}	2.079
w_{i19}	2.590
w_{i20}	3.689

4. Menghitung Parameter β dengan memasukkan harga awal $\alpha = 1$.

$$\beta = \frac{n \left[\sum_{i=1}^n Ni (wi)^{1/\alpha} \right] - \left[\sum_{i=1}^n Ni \right] - \left[\sum_{i=1}^n (wi)^{1/\alpha} \right]}{n \sum_{i=1}^n (wi)^{2/\alpha} - \left[\sum_{i=1}^n (wi)^{1/\alpha} \right] \left[\sum_{i=1}^n (wi)^{1/\alpha} \right]}$$

5. Menghitung Parameter γ dengan memasukkan harga awal $\alpha = 1$.

$$\gamma = \frac{\left[\sum_{i=1}^n Ni \right] - \left[\sum_{i=1}^n (wi)^{2/\alpha} \right] - \left[\sum_{i=1}^n Ni (wi)^{1/\alpha} \right] - \left[\sum_{i=1}^n (wi)^{1/\alpha} \right]}{n \sum_{i=1}^n (wi)^{2/\alpha} - \left[\sum_{i=1}^n (wi)^{1/\alpha} \right] \left[\sum_{i=1}^n (wi)^{1/\alpha} \right]}$$

untuk awal harga α mula-mula ditentukan 1. Setelah didapat harga β dan γ harga α coba dinaikkan untuk mendapatkan harga yang memuaskan. Dengan menggunakan teknik *Sum Squared Residual* (SSR) (duffy et al,2001) untuk mengevaluasi setiap pasangan parameter α , β , γ .

6. Sum Squared Residual (SSR)

$$\sum_{i=1}^n (\delta_i)^2 = \sum_{i=1}^n (\gamma + \beta (wi)^{1/\alpha} - Ni)^2$$

nilai untuk Ni (cycle tegangan)

$$Ni = \gamma + \beta \left[\ln \left(\frac{1}{1 - pi} \right) \right]^{1/\alpha}$$

kriteria memuaskan menghasilkan SSR terendah

Untuk langkah 4 sampai langkah 8 seperti rumusan dalam BAB III tidak dapat dengan langsung kita memasukkan nilai seperti langkah 1 sampai langkah 3. Hal ini dikarenakan dalam penentuan nilai - nilai parameter harus memenuhi nilai *Sum Squared Residual* (SSR) yang terkecil dan itu dilakukan dengan cara itersi. Dengan diformulasikan dalam bahasa pemrograman, maka didapatkan nilai parameter α , β dan γ

Dengan menjalankan langkah-langkah diatas maka didapat parameter yang memuaskan dengan SSR terendah sebagai berikut:

α	3.247
β	962208.778
γ	-286796.371

4.2.2 Metode Distribusi Weibull pada Sistem Pantek

Mencari Parameter yang memuaskan

Langkah-langkah pengerjaannya:

- Sortir data N_i (cycle) dari terkecil sampai yang terbesar. Dengan nilai N awal adalah 45000 Cycle dan nilai batas kegagalan adalah 288000 cycle. Lihat **tabel 4.6**
- Membuat ranking peluang dari tiap-tiap harga cycle dengan rumus:

$$P_i = \frac{i-0,5}{n} \quad \text{maka hasil yang didapat:}$$

Peluang	Nilai
P_{i1}	0.025
P_{i2}	0.075
P_{i3}	0.125
P_{i4}	0.175
P_{i5}	0.225
P_{i6}	0.275
P_{i7}	0.325
P_{i8}	0.375
P_{i9}	0.425
P_{i10}	0.475
P_{i11}	0.525
P_{i12}	0.575
P_{i13}	0.625
P_{i14}	0.675
P_{i15}	0.725
P_{i16}	0.775
P_{i17}	0.825
P_{i18}	0.875
P_{i19}	0.925
P_{i20}	0.975

- Menghitung Variabel Bantu w_i tiap ranking P_i dengan rumus:

$$w_i = \ln\left(\frac{1}{1-P_i}\right) \quad \text{maka hasil yang didapat:}$$

w_i	Nilai
w_{i1}	0.025
w_{i2}	0.078
w_{i3}	0.134



W _{i4}	0.192
W _{i5}	0.255
W _{i6}	0.322
W _{i7}	0.393
W _{i8}	0.470
W _{i9}	0.553
W _{i10}	0.644
W _{i11}	0.744
W _{i12}	0.856
W _{i13}	0.981
W _{i14}	1.124
W _{i15}	1.291
W _{i16}	1.492
W _{i17}	1.743
W _{i18}	2.079
W _{i19}	2.590
W _{i20}	3.689

4. Menghitung Parameter β dengan memasukkan harga awal $\alpha = 1$.

$$\beta = \frac{n \left[\sum_{i=1}^n Ni (wi)^{1/\alpha} \right] - \left[\sum_{i=1}^n Ni \right] \left[\sum_{i=1}^n (wi)^{1/\alpha} \right]}{n \sum_{i=1}^n (wi)^{2/\alpha} - \left[\sum_{i=1}^n (wi)^{1/\alpha} \right] \left[\sum_{i=1}^n (wi)^{1/\alpha} \right]}$$

5. Menghitung Parameter γ dengan memasukkan harga awal $\alpha = 1$.

$$\gamma = \frac{\left[\sum_{i=1}^n Ni \right] - \left[\sum_{i=1}^n (wi)^{2/\alpha} \right] - \left[\sum_{i=1}^n Ni (wi)^{1/\alpha} \right] - \left[\sum_{i=1}^n (wi)^{1/\alpha} \right]}{n \sum_{i=1}^n (wi)^{2/\alpha} - \left[\sum_{i=1}^n (wi)^{1/\alpha} \right] \left[\sum_{i=1}^n (wi)^{1/\alpha} \right]}$$

untuk awal harga α mula-mula ditentukan 1. Setelah didapat harga β dan γ harga α coba dinaikkan untuk mendapatkan harga yang memuaskan. Dengan menggunakan teknik *Sum Squared Residual* (SSR)

(duffy et al,2001) untuk mengevaluasi setiap pasangan parameter α, β, γ .

6. Sum Squared Residual (SSR)

$$\sum_{i=1}^n (\delta_i)^2 = \sum_{i=1}^n (\gamma + \beta (wi)^{1/\alpha} - Ni)^2$$

nilai untuk N_i (cycle tegangan)

$$Ni = \gamma + \beta \left[\ln \left(\frac{1}{1 - pi} \right) \right]^{1/\alpha}$$

kriteria memuaskan menghasilkan SSR terendah

Untuk langkah 4 sampai langkah 8 seperti rumusan dalam BAB III tidak dapat dengan langsung kita memasukkan nilai seperti langkah 1 sampai langkah 3. Hal ini dikarenakan dalam penentuan nilai – nilai parameter harus memenuhi nilai *Sum Squared Residual* (SSR) yang terkecil dan itu dilakukan dengan cara itersi. Dengan diformulasikan dalam bahasa pemrograman, maka didapatkan nilai parameter α , β dan

Dengan menjalankan langkah-langkah diatas maka didapat parameter yang memuaskan dengan SSR terendah sebagai berikut:

α	3.247
β	246113.761
γ	-53934.776

4.3 PERHITUNGAN KEANDALAN WEIBULL

Setelah nilai parameter Weibull dari setiap spesimen didapatkan, maka langkah selanjutnya adalah menghitung fungsi densitas peluang (PDF), fungsi distribusi kumulatif (CDF), fungsi reabilitas $R(N)$ dan fungsi laju kegagalan $\lambda(N)$. Persoalan yang menarik untuk dipelajari dan dibahas adalah penentuan perkiraan umur konstruksi dalam hal ini adalah menentukan besarnya probabilitas terjadinya kerusakan pada suatu konstruksi pada siklus N tertentu. Laju kegagalan adalah besaran yang mengukur kecepatan suatu komponen menjadi rusak per satuan waktu karena komponen tersebut digunakan dalam kondisi tertentu. Besaran ini paling banyak digunakan dalam analisis reliabilitas karena reliabilitas biasanya dinyatakan sebagai fungsi dari laju kegagalan.

Dari harga parameter yang didapat dari kedua Sistem konstruksi tersebut maka selanjutnya dilakukan perhitungan Probabilitas dengan menggunakan metode Distribusi Weibull Dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

1. Menghitung fungsi Densitas (PDF)

$$f_x(N) = \left(\frac{\alpha}{\beta}\right) \left(\frac{N-\gamma}{\beta}\right)^{(\alpha-1)} \text{EXP} - \left(\frac{N-\gamma}{\beta}\right)^\alpha$$

2. Menghitung Fungsi Distribusi Kumulatif

$$f_x(N) = 1 - \text{EXP} - \left(\frac{N-\gamma}{\beta}\right)^\alpha$$

3. Menghitung Fungsi Keandalan (R_n)

$$R(N) = \text{EXP} - \left(\frac{N-\gamma}{\beta}\right)^\alpha$$

4. Menghitung Laju Kegagalan (λ)

$$\lambda(N) = \left(\frac{\alpha}{\beta}\right) \left(\frac{N-\gamma}{\beta}\right)^{(\alpha-1)}$$

5. Menghitung Waktu Kerusakan Rata-rata (MTBF)

$$\bar{N}_i = \gamma + \beta \left(\ln\left(\frac{1}{1-P_i}\right)\right)^{(1/\alpha)}$$

Hasil Perhitungan Fungsi Keandalan Weibull

Tabel 4.7 Parameter dari kedua system konstruksi

Nama Konstruksi	α	β	γ
S.Overlapping	3,247	962208.778	-286796.371
S.Pantek	3.247	246113.761	-53934.776

4.3.1 Sistem Overlapping

Tabel 4.8 Hasil perhitungan

Cycle	R(n)	λ
100000	0.949546	4.349E-07
150000	0.926031	5.717E-07
200000	0.896477	7.295E-07
250000	0.860583	9.089E-07
300000	0.818299	1.110E-06
350000	0.769856	1.334E-06
400000	0.715797	1.582E-06
450000	0.656970	1.852E-06
500000	0.594512	2.147E-06
550000	0.529799	2.466E-06
600000	0.464369	2.810E-06
650000	0.399831	3.179E-06
700000	0.337755	3.574E-06
750000	0.279565	3.994E-06
800000	0.226442	4.441E-06
850000	0.179248	4.913E-06
900000	0.138484	5.413E-06
950000	0.104281	5.939E-06
1000000	0.07643	6.493E-06
1050000	0.05445	7.074E-06

Waktu kerusakan Spesimen adalah saat $R_n=0,1$ didapat $N_i=957212$

Dari tabel 4.7 diatas, dapat digambarkan bahwa probabilitas spesimen tetap baik pada siklus pembebanan 950000 cycle dengan tingkat keandalan sebesar 10.42 % dan laju kegagalan 5.939E-06. Hal ini berarti juga bahwa cycle lebih dari 957212 sudah tidak dapat dipakai karena keandalan kurang dari 10% sedangkan laju kegagalan ini akan meningkat seiring bertambahnya cycle pembebanan.

4.3.2 Sistem Pantek

Tabel 4.9 Hasil perhitungan

Cycle	R(n)	λ
45000	0.94953	1.700E-06

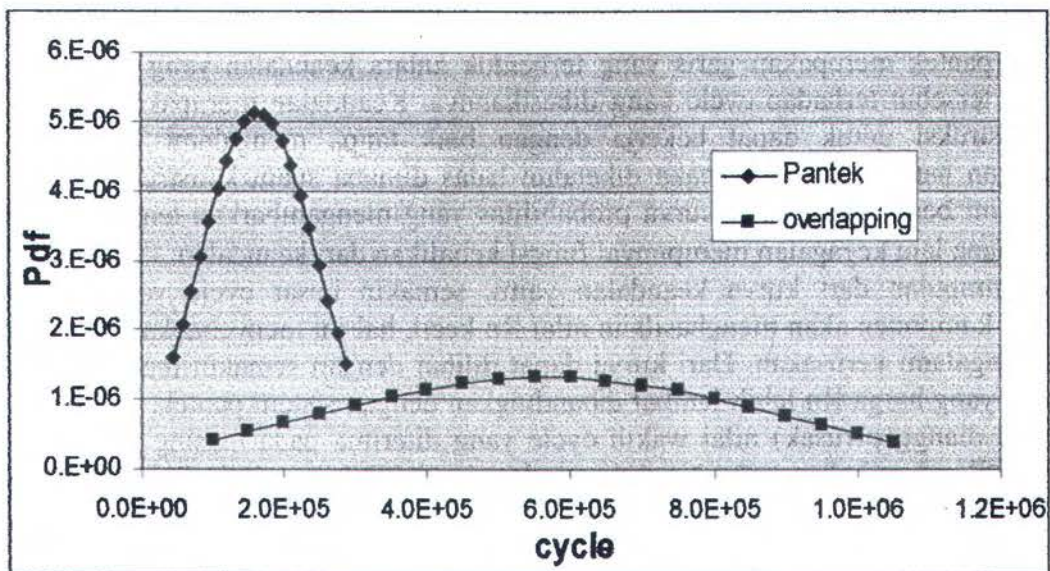
57789	0.92601	2.235E-06
70578	0.89645	2.852E-06
83367	0.86056	3.553E-06
96156	0.81826	4.341E-06
108945	0.76982	5.218E-06
121734	0.71575	6.185E-06
134523	0.65692	7.244E-06
147312	0.59445	8.396E-06
160101	0.52973	9.644E-06
172890	0.46430	1.0989E-05
185679	0.39976	1.2432E-05
198468	0.33768	1.3974E-05
211257	0.2795	1.5617E-05
224046	0.22638	1.7362E-05
236835	0.17919	1.9211E-05
249624	0.13843	2.1163E-05
262413	0.10423	2.322E-05
275202	0.07639	2.538E-05
288000	0.05442	2.7659E-05

Waktu kerusakan Spesimen adalah saat $R_n=0,1$ didapat $N_i = 264239$ cycle

Dari tabel 4.8 diatas, dapat digambarkan bahwa probabilitas spesimen tetap baik pada siklus pembebanan 262413 cycle dengan tingkat keandalan sebesar 10.42 % dan laju kegagalan $2.322E-05$. Hal ini berarti juga bahwa cycle lebih dari 2624239 sudah tidak dapat dipakai karena keandalan kurang dari 10% sedangkan laju kegagalan ini akan meningkat seiring bertambahnya cycle pembebanan.

4.4 GRAFIK KEANDALAN DAN PROBABILITAS

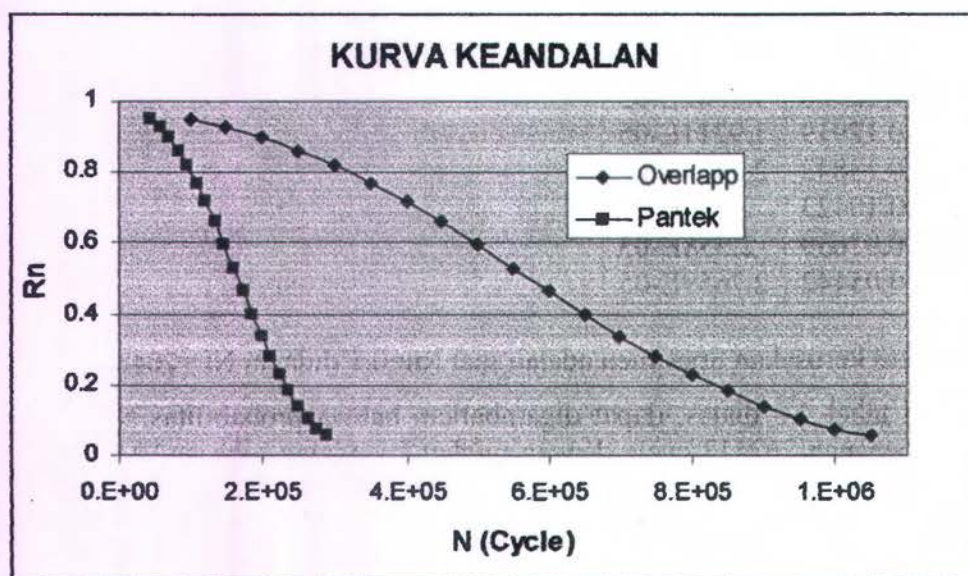
Setelah mendapatkan nilai –nilai dari fungsi keandalan Weibull, maka dapat digambarkan kurva PDF, hubungan antara nilai fungsi keandalan terhadap N cycle tiap komponen dan hubungan antara nilai laju kegagalan terhadap N cycle tiap komponen tersebut.



Gambar 4.3 kurva PDF

Dari kurva *PDF* diatas dapat dilihat, semakin besar nilai parameter pembentuk (terutama parameter lokasi, \square) akan menyebabkan kurva semakin runcing atau tinggi titik puncaknya. Hal ini sangat berpengaruh terhadap cycle yang diterima spesimen, karena semakin runcing kurva *pdf* maka semakin kecil pula umur kelelahannya (cycle pembebanan yang lebih sedikit). Dari kurva *pdf* diatas dapat dilihat sistem pantek memiliki kurva *pdf* yang lebih runcing dibandingkan dengan sistem overlapping yang memiliki kurva *pdf* lebih landai. Sehingga cycle pembebanan yang terjadi untuk sistem overlapping lebih banyak.

Kemudian dari kurva tersebut diatas dapat dibandingkan dan ditarik kesimpulan mengenai kekuatan dan probabilitas dari kedua sistem konstruksi tersebut.

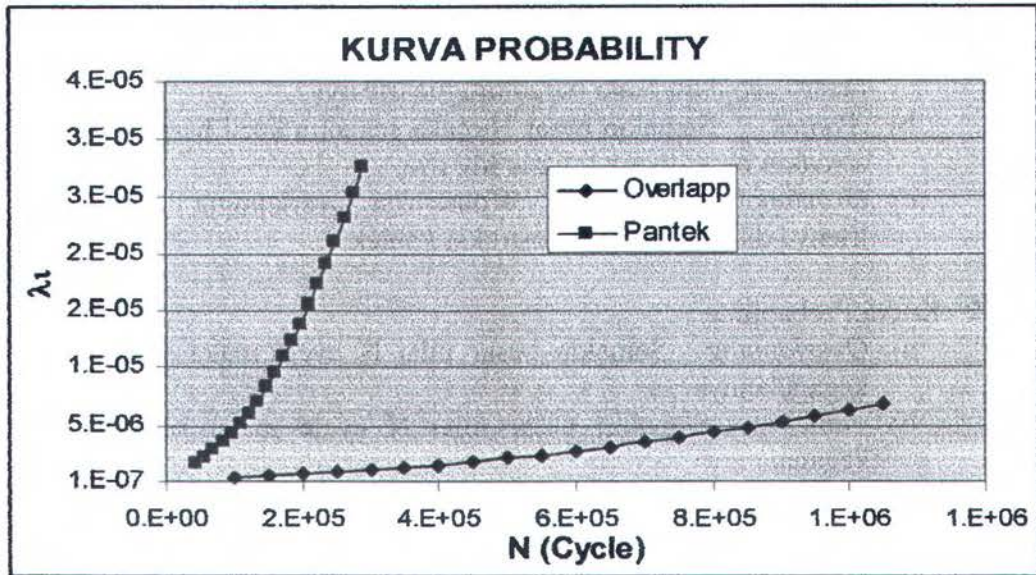


Gbr 4.4 Kurva Keandalan N-Rn

Dari gambar 4.3 dapat dilihat, nilai R_n adalah nilai keandalan/prosentase dari keandalan konstruksi yang nilainya dari 0 sampai 1. Angka $R_n = 0$ menunjukkan konstruksi telah rusak. N_i adalah besarnya cycle yang diberikan dalam satuan cycle. Nilai N_i besar hal ini menunjukkan cycle yang diterima konstruksi.

Garis keandalan overlapping merupakan hubungan antara cycle yang terjadi pada konstruksi sistem overlapping dengan laju keandalan yang terjadi R_n . Sedangkan garis keandalan pantek merupakan garis yang terbentuk antara keandalan yang terjadi pada sistem konstruksi tersebut terhadap cycle yang diberikannya. Keandalan merupakan kemampuan dari suatu konstruksi untuk dapat bekerja dengan baik tanpa mengalami kegagalan. Dengan mendapatkan harga keandalan maka diketahui batas dimana suatu konstruksi dalam menahan beban hal ini berkaitan dengan kurva probabilitas yang menggambarkan tentang laju kegagalan (λ) yang mana laju kegagalan mempunyai fungsi kebalikan dari keandalan.

Kesimpulan dari kurva keandalan yaitu, semakin besar cycle yang diberikan pada spesimen / komponen akan menghasilkan nilai R_n kecil, hal ini menyebabkan spesimen tersebut mudah mengalami kerusakan. Dari kurva dapat dilihat dengan semakin membesar harga cycle penurunan yang harga R_n lebih lambat dibandingkan dengan sistem pantek. Pada saat $R_n = 0.1$, (konstruksi dianggap rusak) nilai waktu cycle yang diterima pada masing – masing spesimen mengidentifikasi bahwa nilai N_i pada overlapping lebih besar dari nilai N_i pada pantek ($N_i \text{ overlapp} > N_i \text{ pantek}$). Hal ini menyebabkan konstruksi sistem pantek kemungkinan mengalami kerusakan akan lebih cepat dibandingkan sistem konstruksi overlapping.



Gbr 4.5 Kurva Probabilitas $N-\lambda$

Sementara kurva laju kegagalan gambar 4.4 adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara laju kecepatan kegagalan spesimen terhadap N_i (cycle). Dari gambar 4.4 dapat dilihat, nilai λ adalah nilai yang menunjukkan kecepatan kegagalan suatu konstruksi/spesimen. Semakin besar nilai λ , menunjukkan laju kegagalan spesimen yang semakin besar. Sedangkan N_i adalah besarnya cycle yang diberikan dalam satuan cycle. Nilai N_i besar hal ini menunjukkan cycle yang diterima konstruksi.

Garis laju kegagalan overlapping merupakan hubungan antara cycle yang terjadi pada spesimen sistem overlapping dengan kecepatan laju kegagalan spesimen yang terjadi λ . Sedangkan garis laju kegagalan pantek merupakan garis yang terbentuk antara besarnya kecepatan laju kegagalan yang terjadi pada sistem konstruksi tersebut terhadap cycle yang diberikannya.

Kesimpulan dari kurva laju kegagalan yaitu, semakin besar cycle yang diberikan pada spesimen / komponen akan menghasilkan nilai λ yang besar, hal ini menyebabkan spesimen tersebut laju kegagalannya semakin besar sehingga waktu kerusakannya pun semakin cepat. Sebagai contoh, diambil data laju kegagalan $\lambda = 5.10^{-6}$, nilai waktu cycle yang diterima pada masing – masing spesimen mengidentifikasi bahwa nilai N_i sistem konstruksi overlapping ($8.59.10^5$ cycle) lebih besar dari nilai N_i sistem konstruksi pantek ($1.06.10^5$ cycle) atau dapat ditulis N_i sistem overlapping $> N_i$ sistem pantek. Tingkat kecondongan kurva sistem overlapping lebih ekstrim bila dibandingkan dengan garis spesimen yang lain, hal ini menunjukkan nilai kecepatan laju kegagalan akan berubah secara cepat dengan perubahan N_i . Dalam hal laju kecepatan kegagalan, sistem pantek mempunyai nilai N_i lebih kecil bila dibanding dengan sistem overlapping untuk nilai λ yang sama.

4.5 PERBANDINGAN HASIL DATA

Dari kedua kurva tersebut diatas dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

Sistem Konstruksi	Keandalan 10% (cycle)	Laju kegagalan (λ)
Overlapping	957211	$6.02.10^{-6}$
Pantek	264239	$2.35.10^{-5}$

❖ Kurva keandalan:

- a) *Overlapping* : Semakin besar N maka semakin kecil harga laju keandalan berarti semakin besar harga fatigue life nya.
- b) *Pantek* : Semakin besar N maka semakin kecil harga laju keandalan berarti semakin besar harga fatigue life nya.
- c) *Overlapping & Pantek* : Konstruksi *Overlapping* lebih besar harga fatigue lifenya dibandingkan konstruksi *Pantek*.

❖ Kurva Probabilitas:

- a) *Overlapping* : Semakin besar nilai N cycle maka semakin besar harga laju kegagalannya.
- b) *Pantek* : Semakin besar nilai N cycle maka semakin besar harga laju kegagalannya.
- c) *Overlapping & Pantek* : Konstruksi *Pantek* lebih besar laju kegagalannya jika dibandingkan *Overlapping*.
- d) *Overlapp & pantek* : pada laju kegagalan (λ) = $5E-06$
 Pada sistem konstruksi *overlapping* mempunyai Cycle yang didapat lebih besar dari pada sistem konstruksi *pantek*.

Kurva keandalan Untuk melihat keandalan sebuah struktur konstruksi untuk menerima beban tanpa mengalami kegagalan. Pada kurva Keandalan menunjukkan nilai batas ketahanan suatu konstruksi untuk berfungsi dengan baik dalam hal ini dapat bertahan dalam menahan beban, yang mana untuk material kayu diambil 10% ($R_n=0.1$) dari harga keandalan sedangkan kurva probabilitas menunjukkan proses laju kegagalan dari sistem konstruksi yaitu proses kerusakan yang terjadi dari sistem konstruksi yang akhirnya dapat kemungkinan akan menyebabkan kegagalan pada sistem konstruksi tersebut. Probabilitas kerusakan konstruksi dari kedua sistem dengan membaca kurva diatas pada kurva probabilitas yang mana untuk sistem *pantek* dapat dilihat kenaikan laju kegagalan yang terjadi sangat cepat dengan nilai kenaikan harga Cycle yang sedikit artinya kemungkinan sistem konstruksi tersebut untuk mengalami kegagalan atau kerusakan sangat cepat yang mana untuk interval harga cycle 45000-288000 laju kegagalan yang didapat berkisar antara $1.7 \cdot 10^{-6}$ - $2.7659 \cdot 10^{-5}$ dan dianggap rusak pada harga $2.35 \cdot 10^{-5}$ sedangkan untuk sistem *overlapping* didapatkan kurva yang lebih landai artinya kenaikan laju kegagalan yang terjadi sangat lambat atau perlahan-lahan dengan kenaikan harga cycle dapat disimpulkan sistem konstruksi ini lebih lama dalam menahan beban dinamis yang terjadi dibandingkan sistem *pantek* yang mana untuk interval harga cycle 100000-1050000 harga laju kegagalan berkisar antara $4.349 \cdot 10^{-7}$ - $7.074 \cdot 10^{-6}$ dan dianggap rusak pada harga $6.02 \cdot 10^{-6}$ Keandalan berkaitan dengan probabilitas kerusakan yang terjadi pada sistem tersebut, keduanya mempunyai hubungan berkebalikan artinya suatu sistem yang mempunyai harga laju kegagalan yang kecil maka harga keandalannya besar.

Dari data hasil perhitungan distribusi weibull diatas dapat disimpulkan bahwa keandalan dari sistem konstruksi *overlapping* dalam menahan beban lebih besar dibandingkan dengan sistem konstruksi *pantek*.

BAB V

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Dari analisa data yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Angka cycle yang terjadi pada sistem overlapping lebih besar daripada sistem pantek. Sehingga beban yang mampu ditahan oleh sistem overlapping sampai mengalami kerusakan lebih besar daripada sistem pantek.
2. Waktu kerusakan spesimen dianggap pada saat harga R_n (tingkat keandalan) sebesar 10 %. Maka didapat harga N pada saat $R_n = 10\%$ sistem overlapping 957211 Cycle dan pada sistem pantek sebesar 264239 cycle. Laju kegagalan (λ) yang didapat pada saat harga R_n (tingkat keandalan) 10% yaitu pada sistem overlapping $6.493E-06$ dan pada sistem pantek $2.538E-05$.
3. Pada saat harga cycle didapat 957211 saat $R_n = 10\%$ (sistem overlapping) untuk beban 9682.265 N sedangkan pada sistem konstruksi pantek untuk cycle 264239 didapatkan beban sebesar 8503.733 N
4. Kelebihan dari program yang dibuat (Visual Basic) dari program yang telah ada (Delphi), Pada program ini banyaknya data dapat ditentukan sendiri tergantung interval yang dimasukkan Sedangkan pada Delphi semua data dibagi sebanyak 20 data. Kecepatan pembacaan program lebih cepat dibandingkan Delphi hal ini disebabkan pada Delphi menggunakan database sehingga memerlukan waktu yang cukup lama untuk membacanya sedangkan pada Visual Basic ini perhitungan dilakukan dengan bahasa pemograman langsung.

5.2 SARAN

Untuk menambah dan menyempurnakan hasil memberikan gambaran yang lebih jelas tentang analisa probabilitas kerusakan yang dialami kedua sistem tersebut maka saran yang penulis berikan untuk penelitian selanjutnya adalah menambah data pada uji fatigue dengan menambah variasi beban, coba menggunakan variasi perhitungan keandalan dengan distribusi yang lain. Membuat data uji fatigue menggunakan material yang berbeda yang biasa digunakan pada lambung kapal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, surahman. 2006. Studi tentang Pengaruh Beban Terhadap Kekuatan Konstruksi Lambung Kapal Kayu dengan Sistem Overlapping. Surabaya : ITS
- Biro Klasifikasi Indonesia, 1996. Peraturan Kapal Kayu. Jakarta : Bina Hati.
- Crowder, M.j. 1991. *Statistical Analysis of Reliability Data*. USA: Chapman and Hall.
- Duffy, Stephen dan Baker, Eric. 2001. *Weibull Parameter Estimation Theory and Background Information*. Cleveland : Connecticut Reserve Technologies.
- Fitryah. 2006. Studi tentang Pengaruh Beban Terhadap Kekuatan Konstruksi Lambung Kapal Kayu dengan Sistem Pantek.. Surabaya: ITS.
- O 'Connor, Patrick, D.T. 1991. *Practical Reability Engineering third edition*. England: John Wiley & Soos Ltd.
- Provan, J.W. 1987. *Probabilistic Fracture mechanics and Reliability*. Netherland: Martinus Nijhoff Publishers, P.O.BOX 163, 3300 AD Dordrecht.
- Soewefy, 2004. *Ukuran Cacat Undercut sebagai Parameter Probabilitas Kekuatan Kelelahan dan Reabilitas Sambungan Las*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Sulasman. 2003. *Penggunaan Distribusi Weibull untuk Menentukan Probabilitas Fracture Mechanics Sambungan Las dengan Defect*. Surabaya: ITS
- Yap, K.H. Felix. 1999. Konstruksi kayu. Bandung: Trimitra Mandiri.
- <URL: http://www.weibull.com/lifedataweb/basic_statistical_definitions.html>

AFTAR JENIS KAYU (BKI, 1996)

No	Nama dagang (huruf besar) Nama lainnya (huruf kecil) Nama latin (huruf miring) Famili (dalam tanda kurung)	Kelas		Berat jenis kering udara		Pemakaian	Tempat tumbuh
		Awet	Kuat	Min	Max		
				(rata-rata)			
1	AMPUPU Eucalyptus Alba Reinw (Myrtaceae)	II-III	I-II	0,68 (0,89)	1,02	gading, galar, papan geladak, kulit	Maluku, Nusa Tenggara
2	BALAM Nyatoh, suntai, maneo, arupa samaran, sambun, gofiri Palaquin ridloyi K.ot.G (Sapotaceae)	II	I	0,9 (1,04)	1,22	papan, kulit, gading, galar, papan geladak, balok geladak	seluruh indonesia
3	BALAU Damar laut, sinantok, poori, bangkirai, kelepek, resak, minyak, damardere Shorea Spp, Hopea Celebica (Dipterocarpaceae)	I	I-II	0,65 (0,89)	1,22	Gading, galar, papan geladak, balok geladak, kulit	Sumatera Sulawesi Kalimantan
4	BANGKIRAI Benuas, selangan batu, anggalam, tokam Shorea laevifolia endert (Dipterocarpaceae)	I(I-III)	I-II	0,60 (0,91)	1,16	Semua bagian Kapal	Kalimantan
5	BEDARU Daru-daru, Tusan, garu buaya Cantleya Cormiculata Howard (Icacenaceae)	I	I	0,84 (1,04)	1,36	Gading, Kulit, dudukan mesin, dan bagian yang memerlukan kekuatan	Sumatra Kalimantan Nusa Tenggara Barat
6	BELANGERAN Kawi, Kohooi Shorea Balangeran Burck (Dipterocarpaceae)	I(I-III)	I-II	0,73 (0,86)	0,98	Gading, galar, papan geladak, balok geladak, kulit	sumatera Kalimantan
7	BERUMBUNG Adina minutiflora Val (Rubiaceae)	II	I-II	0,74 (0,85)	0,94	Gading, kulit, wrang, Bangunan atas	Sumatera Kalimantan
8	BINTANGUR Nyamplung, punaga, betawa, kapuraya, bentago, balitoko Calopyllum Spp (Guttiferae)	III	II-III	0,37 (0,78)	1,07	Konstruksi bagian dalam, tiang layar	Maluku, Nusa Tenggara, sumatera, Irian Jaya, Sulawesi
9	BUGIS, K Kelembiring, Siuri	III-IV	II-III	0,41	1,02	Gading, galar, kulit,	Sulawesi, Irian Jaya

	Koordersiodendron pinnatum (Anacardiaceae)			(0,80)		geladak	Maluku kalimantan
10	BUNGUR Wungu ketangi, oindolo, langoti Lagerstroemia speciosa Pers (Lythraceae)	II-III	I-II	0,62 1,01 0,80		Gading, galar, papan geladak, kulit, rangka- rangka	Maluku, Jawa, Nusa Tenggara, Sumatera kalimantan, Sulawesi
11	CEMARA Angin, embun, ruwow Casuarina Spp (Casuarinaceae)	II-III	I-II	1,04 1,18			Maluku, Jawa, Nusa Tenggara, Sumatera Irian jaya, Sulawesi Kal-bar
12	CEMPAGA pondongio, motaha, kayuroda Dysoxylum densiflorum Miq (Maliaceae)	II-III	II	0,57 0,90 (0,71)			Maluku, Jawa, Nusa tenggara, Sumatera Kalimantan, Sulawesi
13	CENGAL Awngukung, tekanm, cangar, mata kucing, gagil Hopea, sangal korth (Santalaceae)	II-III	II-III	0,57 0,90 (0,70)		gading, kulit, papan geladak	Sumatera, Jawa
14	DUNGUN dungun-dungun, palapi, dasi kambing Herifera Letteralis Orxand (Sterculiaceae)	I-II	I	0,88 1,23 (0,98)		rangka-rangka, lunas dan bagian lain yang me- merlukan perlengkungan uap	seluruh indonesia
15	GADOK gerunjing, bintangun, polo, palentuna Bischoffia Javanica Bi (Euphorbiaceae)	II-III	II(I- III)	0,55 1,00 (0,75)		Gading, galar, papan geladak, balok geladak	Maluku, Jawa, Nusa Tenggara, Sumatera Irian Jaya, Sulawesi
16	GELAM Melaleuca Leucadendron L (Myrtaceae)	III	II	0,73 0,85		Gading, galar, papan gldk balok gldk, kulit	Seluruh Indonesia
17	GIA Hiya, aliwawas, samal, samar batu Homalium foetidum, benth (Flacourtiaceae)	I-II	I-II	0,77 1,06 (0,91)		Lunas, linggi, gading kulit, senta	Maluku, Irian jaya sulawesi, kalimantan
18	GIAM resak tembaga, resak daun lebar Cotylelobium Sperdiv (dipterocarpaceae)	I	I	0,83 1,15 (0,99)		Lunas, linggi, gading, kulit, galar senta, rangka- rangka	sumatera, kalimantan kep. riau
19	GISOK						

0	Gisok gunung Shorea guiso Bl (dipterocarpaceae)	II-III	I-II	0,73 0,97 (0,83)	gading,galar,papan gldk balok gldk,kulit	sumatera, kalimantan
1	GOFASA gofasa,batu,biti,tempira, walata,kalban (verbenaceae)	II-III	II-III	0,57 0,93 (0,74)	gading,kulit,papan gldk	Maluku,irian jaya sulawesi
2	JATI teak,taok,jatos,deleg,dodolan jate,kiati tectona Grandis Lf Caesalpiniaceae)	I-II	II	0,59 0,82 (0,70)	Semua bag.kapal	Nusa Tenggara,jawa sulawesi
3	JOHAR Casia siamea lamk (Caesalpiniaceae)	I-II	I-II	0,68 0,96 (0,84)	Papan gldk,dinding rmh geladak	sumatera,jawa
4	KAPUR kamper,sintok,petanang,kuras burnes,champer wood Dryobalanops lanceolata burck (dipterocarpaceae)	II-III	I-II	0,63 0,94 (0,81)	gading,galar,papan gldk balok gldk,rmh gldk, kulit senta	Sumatera kalimantan
5	KEMPAS manggeris,hampas,tualang. bengaris koompasia malacensis maing (Caesalpiniaceae)	III-IV	I-II	0,68 1,29 (0,95)	lunas,linggi,gading, pondasi mesin,senta	sumatera kalimantan
6	KERUING palahlar,keladan,tempulan logam ariung,kayu kawan, dermala,andiri,kakap Dipterocarpus Specdiv (dipterocarpaceae)	III	I-II	0,51 1,01 (0,79)	gading,kulit papan gldk	sumatera,jawa kalimantan
7	KETAPANG sirise terminalia balerica roxb (Combretaceae)	III-V	II-III	0,41 0,85	gading,galar,papan gldk balok gldk	seluruh indonesia
8	KOLAKA bunga parinari corymbosa Miq (rosaceae)	III	I	0,73 1,09 (0,96)	gading,galar,papan gldk balok gldk,kulit	seluruh indonesia
9	KOSAMBI kesambi schleichera oleosa Merr (sapindaceae)	III	I	0,94 1,10 (1,01)	lunas,linggi.gading, kulit,senta,papan gldk	nusa tenggara,jawa sulawesi,maluku

KRANJI keranji <i>dialium platysepalum</i> baher (caesalpinia)	I	I-II	0,84 1,04 (0,98)	gading, galar, lunas, linggi	sumatera, jawa kalimantan
KUKU <i>pericopsis mooniana</i> baher (papilionaceae)	II	I	(0,87)	gading, galar, balok gldk rmh gldk, kulit, senta	sumatera, jawa kalimantan, maluku sulawesi
KULIM kayu bawang, kundur <i>scorodocarpus borneensis</i> becc (olacaceae)	I-II	I	0,73 1,08 (0,94)	gading, kulit, lunas, linggi dudukan mesin dan bag. yang memerlukan kekuatan, galar	sumatera kalimantan
KUPANG <i>ormosia sumatrana</i> Prain (papilionaceae)	II-IV	II-III	0,54 0,78	konstruksi diatas garis air	sumatera, jawa kalimantan, maluku, sulawesi
LABAN leban, kiheyas, pampa halban <i>vitex pubesceus</i> vahl (Verbenaceae)	I	I-II	0,74 1,02 (0,88)	lunas, linggi, gading, kulit papan gldk, galar	sumatera kalimantan kep. riau
LARA mangi, momosi, motulu, nani, masili <i>Metrosiderus, petiolata</i> kds (myrtaeaceae)	I	I	0,98 1,23 1,15	lunas, linggi, gading, galar dudukan mesin, dan bag. yang memerlukan kekuatan	Maluku sulawesi
LEDA <i>eucalyptus deglupta</i> Bl (myrtaeaceae)	IV(II- V)	III(II- IV)	0,39 0,81 (0,57)	konstruksi diatas garis air	maluku, sulawesi
MAHANG kapur <i>macaranga hypoleuca</i> meuli (euphorbiaceae)	IV-V	II-IV	0,30 0,55	papan rmh gldk, papan gldk, dan konstruksi di atas garis air	sumatera, jawa, kalimantan
MAHONI <i>swietenia mahagoni</i> jocq <i>swietenia machropylla</i> king (meliaceae)	III	II-III	0,56 0,76 (0,64)	gading, galar, papan gldk balok gldk, kulit	jawa
MALAS ,k gelam, tembago, ampalang <i>parastemon urophyllum</i> A. DC (rosaceae)	II-III	I	0,95 1,15 (1,04)	semua bag. kapal	sumatera kalimantan

39	MATOA kasai, galunggung, kase, iseh hatobu, motoa, jagir pometia Spp (Sapindaceae)	III-IV	II(I-III)	0,50 (0,77)	0,99		maluku, jawa, nusa tenggara, sumatera irian jaya, sulawesi
40	MEDANG kiserah, kayu lada, palio, selasih marawali litsea firma hook f dehaasia (Lauraceae)	III-V	II-V	0,36	0,85	papan gldk, konstruksi diatas garis air	seluruh indonesia
41	MERANTI BATU Shorea platicladus (Dipterocarpaceae)	II-IV	II-IV	0,29 (0,55)	1,01	lunas, linggi, gading, kulit, papan geladak	sumatera, kalimantan maluku, sulawesi
42	MERANTI MERAH damio, damar, lampung, uban, salak, serayalanan Shorea acuminata dyer (Dipterocarpaceae)	III-IV	II-IV	0,29 (0,55)	1,01	papan geladak, kostruksi di atas garis air	sumatera, kalimantan maluku, sulawesi
43	MERANTI PUTIH kayu takan, damar cermin, mesegar, meranti bodat, honi Shorea lamellata (Dipterocarpaceae)	III-IV	II-IV	0,29 (0,54)	0,96	papan geladak, kostruksi di atas garis air	sumatera, kalimantan maluku, sulawesi
44	MERAWAN Nyerekat, damar lilin, dasar, manirawan, gagil, andorie, boamo, sam, wapei Hopea daasyrrachis VSI (Dipterocarpaceae)	II-III	II-III	0,42 (0,70)	1,03	papan geladak, kostruksi di atas garis air	sumatera, kalimantan
45	MERBAU ipil, merbo, bayam, kayu besi Intsia bijuga O, Ktze (Caesalpiniaceae)	I-II	I-II	0,52 (0,80)	1,04	bagian kapal di atas air	seluruh indonesia
46	NYIRIH Xylocarpus granatum koen (Meliaceae)	II-III	I	0,70	0,74	konstruksi di atas garis air	seluruh indonesia
47	PASANG hampening, paning-paning begung, hoting, karamajo, bataruwa, wrakas, palele Quercus lineata Bl (Fagaceae)	II-IV	I	0,94	1,10	gading, galar, balok geladak	seluruh indonesia

3	PATIN, k selumar <i>Musaendopsis becariana bailii</i> (Rubiaceae)	I	I-II	0,82 (0,92)	1,02	gading, galar papan geladak balok geladak, kulit	sumatera kalimantan kep. Riau
9	PELAWAN <i>Tristania mayngayi duthie</i> (Myrtaceae)	I-II	I	1,00	1,19	lunas, linggi, gading, kulit, dan bagian yang memerlukan kekuatan	sumatera, kalimantan
	PEREPAT DARAT <i>Combretocarpus rotundatus</i> dans (Bhizophoraceae)	III	II	0,67 (0,76)	0,85	konstruksi di atas garis air	sumatera, kalimantan
1	PEREPAT LAUT rambai papan, perepak, beropa <i>Sonneratia alba smith</i> (Sonneratiaceae)	II-III	I-II	0,62 (0,78)	1,00	gading, kulit, papan geladak, balok geladak	seluruh indonesia
2	PETALING petatar, ampilung <i>Ochanostachys amentacea mast</i> (Olacaceae)	I-II	I-II	0,72 (0,91)	1,09	gading, galar, lunas, linggi, kulit	sumatera, kalimantan
3	PETANANG <i>Dryobalanops oblongifolia dyer</i> (Dipterocarpaceae)	III	II	0,62 (0,75)	0,91		sumatera
4	PIMPING <i>Sterculia foetida L</i> (Sterculiaceae)	III-IV	I-IV	0,35	0,64		seluruh indonesia
5	PINANG, k <i>Pintace triptera mast</i> (Tiliaceae)	III-IV	II-III	0,47 (0,66)	0,87	konstruksi di atas garis air	sumatera, kalimantan
6	POLAPI polapipoote, piratu kalapi <i>Kallapia celebica kastern</i> (Capsalponiaceae)	I-III	II	0,59 (0,61)	0,71	papan	kalimantan, sulawesi
7	PUNAK penagit <i>Tetramerista glabra miq</i> (Theaceae)	III-IV	II	0,55 (0,76)	0,90	papan geladak, dinding rumah geladak, rangka rumah geladak	sumatera, kalimantan
8	PUSPA madang keladi <i>Schima wallichii korth</i> (Theaceae)	III	II	0,62	0,71	gading, kulit, papan geladak, galar	sumatera, jawa, kalimantan

9	PUTAT telisai, wiwa <i>Planchonia valida</i> Bl (Lechythidaceae)	II-III	I-II	0,80	0,89	gading, kulit, papan geladak	seluruh indonesia
0	RASAMALA mandung <i>Altingia excelsa noronha</i> (Hamamelidaceae)	II-III	II	0,61	0,90 (0,81)		sumatera, jawa,
1	RENGAS bara-bara, gegas, regeh, ingas, bembalut, jongas, keramu <i>Gluta bengas</i> L (Anacardiaceae)	II	II	0,59	0,84 (0,69)	gading, kulit, papan geladak, balok geladak galar	sumatera, jawa, kalimantan
2	RESAK rasak, resak, sigam, aboh, cengal, arsad, hiru, arowe <i>Vatica</i> Spp (Dipterocarpaceae)	III	II	0,49	0,99 (0,70)	lunas, linggi, gading, kulit, balok geladak	sumatera, irian jaya, maliku, kalimantan
3	SAWO KECIK manilkara kauki dub (sapotaceae)	I	I	0,97	1,06 (1,03)	bantalan poros, baling2	sumatera, jawa, nusa tenggara, maluku, sulawesi
4	SIMPUR simpur jangkang <i>dillenia eximia</i> Miq (dilleniaceae)	III-V	I-III	0,6	0,89	konstruksi diatas garis air	sumatera, jawa kalimantan, maluku sulawesi
5	SINDUR anggi, samparentu, petir <i>sindora</i> Spp (caesalpiniaceae)	II-V	II-III	0,59	0,85		sumatera, kalimantan maluku, sulawesi
6	SOLEWE polapi, latoo <i>Modhucaphilippinosis</i> Merr	I-II	I-II	0,84	0,93	lunas, linggi, gading, kulit galar	sulawesi
7	SURIAN suren <i>toona sureni</i> Merr (meliaceae)	III-V	III-V	0,38	0,50	papan gldk, dan terutama konstruksi diatas garis air	seluruh indonesia
8	SURIAN BAWANG <i>melia excelsa</i> jack (meliaceae)	III-IV	II-III	0,49	0,70 (0,60)	papan-papan dan terutama konstruksi diatas garis air	sumatera, irian jaya, maluku, kalimantan
9	TANJUNG nane	I-II	I	0,92	1,12	gading, galar, lunas	sumatera, jawa,

	mimusops elengi L (sapotaceae)			(1,00)	linggi kulit	nusa tenggara,
70	TEMBESU tembesu,tembesu talang,T. tanduk.T.rawang,ketam fragraea fragrans Roxb (loganiaceae)	I	II	0,72 0,93 (0,81)	lunas,linggi,gading,kulit	maluku,sulawesi sumatera,jawa kalimantan
71	TEMPINIS sloetia elongata Kds (moraceae)	I	I	0,92 1,02 (1,01)	lunas,linggi,kulit,dan bag.yang memerlukan kekuatan	sumatera,sulawesi
72	TERALING dangun,mengkulang, terrietia symplicifolia mast (sterculiaceae)	II-IV	II	0,52 0,99 (0,75)	papan-papan,gading	sumatera,jawa, sulawesi
73	TERAP artocarpus elasticus reinw (moraceae)	III-V	III-V	0,21 0,64 (0,44)		seluruh indonesia
74	TUALANG bengaris,kempas, koompassia excelsa taub (caesalpiniaceae)	III-IV	II(I-II)	0,57 1,12 (0,83)	gading,galar,lunas,linggi dudukan mesin,kulit	sumatera kalimantan sulawesi
75	ULIN bulian eusideroxylon zwageri T.et.B (lauraceae)	I	I	0,88 1,19 (1,04)	semua bag.kapal, terutama yang memer lukan kekuatan	sumatera, kalimantan
76	WALIKUNKUN schoutenia ovata korth (tiliaceae)	II	I	0,90 1,08 (0,98)	semua bag.kapal terutama yg memerlukan kekuatan	jawa,nusa tenggara

```
Dim n1, n2 As Integer
Dim efka1(100), efka2(100) As Double
Dim resize As Integer
```

```
Private Sub cmdproc_Click()
    cmdproc.Enabled = False
    List1.Clear
```

```
    Dim i, N As Integer
    Dim data(100) As Double
    Dim Cycle As Double
    N = 1
    'Cells(16, 3) = Val(txtminR) '8, 7
    data(0) = Val(txtminR)
    'List1.AddItem data(0)
    Cycle = Val(txtminR)
    i = 1
    Cycle = Cycle + Val(txtintrvl)
    While (Cycle <= Val(txtmaxR.Text))
        'Cells(16 + i, 3) = Cycle '8+i,7
        data(i) = Cycle
        'List1.AddItem data(i)
        Cycle = Cycle + Val(txtintrvl)
        i = i + 1
        N = i
    Wend
```

```
    Dim p(100) As Double
    For i = 0 To N - 1
        'Cells(15 + i, 5) = (i - 0.5) / n '22 + i, 7
        p(i) = ((i + 1) - 0.5) / N
    Next i
```

```
    Dim w(100) As Double
    For i = 0 To N - 1
        'Cells(15 + i, 7) = WorksheetFunction.Ln(1 / (1 - Cells(15 + i, 5))) '36 + i, 7 '22 + i, 7
        w(i) = Math.Log(1 / (1 - p(i))) / Math.Log(2.71878) '36 + i, 7
        'List1.AddItem w(i)
    Next i
```

```
    Dim oldssr, ssr, alpha, beta, gamma, r1, r2, r3, r4, r5, resi, uni As Double
    ssr = 10000000000000#
    oldssr = 100000000000001#
    alpha = 1
    Dim j, k As Integer
    j = 1
    k = 0
```



```

While (ssr < oldssr)
  'Cells(101, 4) = 1
  oldssr = ssr
  r1 = 0
  For i = 0 To N - 1
    r1 = r1 + data(i) * w(i) ^ (1 / alpha)
  Next i
  r1 = N * r1

  r2 = 0
  For i = 0 To N - 1
    r2 = r2 + data(i)
  Next i

  r3 = 0
  For i = 0 To N - 1
    r3 = r3 + w(i) ^ (1 / alpha)
  Next i

  r4 = 0
  For i = 0 To N - 1
    r4 = r4 + w(i) ^ (2 / alpha)
  Next i
  r4 = N * r4

  r5 = r3 ^ 2

  beta = (r1 - r2 * r3) / (r4 - r5)

  _____
  gamma = (r2 * (r4 / N) - (r1 / N) * r3) / (r4 - r5)
  'Cells(3, 10) = beta
  'Cells(4, 10) = gamma

  For i = 0 To N - 1
    uni = gamma + beta * (w(i) ^ (1 / alpha))
  Next i

  For i = 0 To N - 1
    resi = uni - data(i)
  Next i

  ssr = 0
  For i = 0 To N - 1
    ssr = ssr + (gamma + beta * w(i) ^ (1 / alpha) - data(i)) ^ 2
  Next i
  'Cells(15 + j, 10) = ssr
  'Cells(15 + j, 9) = alpha
  alpha = alpha + 1

```

```

j = j + 1
k = k + 1
Form3.chartw1.ColumnCount = 1
Form3.chartw1.RowCount = k
Form3.chartw1.Row = k
Form3.chartw1.RowLabel = alpha
Form3.chartw1.data = ssr
Form3.chartw1.ColumnLabel = ssr
Wend

'iterasi 2
ssr = 10000000000000#
oldssr = 10000000000001#
alpha = alpha - 3
j = 1
k = 0
While (ssr < oldssr)
  'Cells(101, 4) = 1
  oldssr = ssr
  r1 = 0
  For i = 0 To N - 1
    r1 = r1 + data(i) * w(i) ^ (1 / alpha)
  Next i
  r1 = N * r1

  r2 = 0
  For i = 0 To N - 1
    r2 = r2 + data(i)
  Next i

  r3 = 0
  For i = 0 To N - 1
    r3 = r3 + w(i) ^ (1 / alpha)
  Next i

  r4 = 0
  For i = 0 To N - 1
    r4 = r4 + w(i) ^ (2 / alpha)
  Next i
  r4 = N * r4

  r5 = r3 ^ 2

  beta = (r1 - r2 * r3) / (r4 - r5)

  =====
  gamma = (r2 * (r4 / N) - (r1 / N) * r3) / (r4 - r5)
  'Cells(3, 10) = beta
  'Cells(4, 10) = gamma

```



```

For i = 0 To N - 1
    uni = gamma + beta * (w(i) ^ (1 / alpha))
Next i

```

```

For i = 0 To N - 1
    resi = uni - data(i)
Next i

```

```

ssr = 0
For i = 0 To N - 1
    ssr = ssr + (gamma + beta * w(i) ^ (1 / alpha) - data(i)) ^ 2
Next i

```

```

'Cells(15 + j, 10) = ssr
'Cells(15 + j, 9) = alpha
alpha = alpha + 0.1
j = j + 1
k = k + 1
Form3.chartw2.ColumnCount = 1
Form3.chartw2.RowCount = k
Form3.chartw2.Row = k
Form3.chartw2.RowLabel = alpha
Form3.chartw2.data = ssr
Form3.chartw2.ColumnLabel = ssr

```

Wend

'iterasi 3

```

ssr = 100000000000000#
oldssr = 100000000000001#
alpha = alpha - 0.3
j = 1
k = 0

```

While (ssr < oldssr)

```

'Cells(101, 4) = 1
oldssr = ssr
r1 = 0
For i = 0 To N - 1
    r1 = r1 + data(i) * w(i) ^ (1 / alpha)
Next i
r1 = N * r1

```

```

r2 = 0
For i = 0 To N - 1
    r2 = r2 + data(i)
Next i

```

```

r3 = 0
For i = 0 To N - 1
    r3 = r3 + w(i) ^ (1 / alpha)
Next i

```

```

r4 = 0
For i = 0 To N - 1
    r4 = r4 + w(i) ^ (2 / alpha)
Next i
r4 = N * r4

r5 = r3 ^ 2

beta = (r1 - r2 * r3) / (r4 - r5)



---


gamma = (r2 * (r4 / N) - (r1 / N) * r3) / (r4 - r5)
'Cells(3, 10) = beta
'Cells(4, 10) = gamma

For i = 0 To N - 1
    uni = gamma + beta * (w(i) ^ (1 / alpha))
Next i

For i = 0 To N - 1
    resi = uni - data(i)
Next i

ssr = 0
For i = 0 To N - 1
    ssr = ssr + (gamma + beta * w(i) ^ (1 / alpha) - data(i)) ^ 2
Next i
'Cells(15 + j, 10) = ssr
'Cells(15 + j, 9) = alpha
alpha = alpha + 0.01
j = j + 1
k = k + 1
Form3.chartw3.ColumnCount = 1
Form3.chartw3.RowCount = k
Form3.chartw3.Row = k
Form3.chartw3.RowLabel = alpha
Form3.chartw3.data = ssr
Form3.chartw3.ColumnLabel = ssr

Wend

'iterasi 4
Dim ssr2(100) As Double
ssr = 1000000000000000#
oldssr = 1000000000000001#
alpha = alpha - 0.03
j = 1
k = 0

```




```
While (ssr < oldssr)
```

```
'Cells(101, 4) = 1
```

```
oldssr = ssr
```

```
r1 = 0
```

```
For i = 0 To N - 1
```

```
    r1 = r1 + data(i) * w(i) ^ (1 / alpha)
```

```
Next i
```

```
r1 = N * r1
```

```
r2 = 0
```

```
For i = 0 To N - 1
```

```
    r2 = r2 + data(i)
```

```
Next i
```

```
r3 = 0
```

```
For i = 0 To N - 1
```

```
    r3 = r3 + w(i) ^ (1 / alpha)
```

```
Next i
```

```
r4 = 0
```

```
For i = 0 To N - 1
```

```
    r4 = r4 + w(i) ^ (2 / alpha)
```

```
Next i
```

```
r4 = N * r4
```

```
r5 = r3 ^ 2
```

```
beta = (r1 - r2 * r3) / (r4 - r5)
```

```
gamma = (r2 * (r4 / N) - (r1 / N) * r3) / (r4 - r5)
```

```
'Cells(3, 10) = beta
```

```
'Cells(4, 10) = gamma
```

```
For i = 0 To N - 1
```

```
    uni = gamma + beta * (w(i) ^ (1 / alpha))
```

```
Next i
```

```
For i = 0 To N - 1
```

```
    resi = uni - data(i)
```

```
Next i
```

```
ssr = 0
```

```
For i = 0 To N - 1
```

```
    ssr = ssr + (gamma + beta * w(i) ^ (1 / alpha) - data(i)) ^ 2
```

```
Next i
```

```
'Cells(15 + j, 10) = ssr
```

```

'Cells(15 + j, 9) = alpha
alpha = alpha + 0.001
j = j + 1
k = k + 1
Form3.chartw4.ColumnCount = 1
Form3.chartw4.RowCount = k
Form3.chartw4.Row = k
Form3.chartw4.RowLabel = alpha
Form3.chartw4.data = ssr
Form3.chartw4.ColumnLabel = ssr

```

Wend

```

txtssr = oldssr
txtalpha = alpha - 0.002
txtbeta = beta
txtgamma = gamma

```

Dim fdp, fdk, fk, flk, mtbf As Double

```

For i = 1 To N - 1
    Load titik1(i)
    Load titik11(i)
Next

```

```

For i = 0 To N - 1
    fdp = (alpha / beta) * ((data(i) - gamma) / beta) ^ (alpha - 1) * Math.Exp(-((data(i) - gamma) / beta) ^ alpha)
    fdk = 1 - Math.Exp(-((data(i) - gamma) / beta) ^ alpha)
    fk = Math.Exp(-((data(i) - gamma) / beta) ^ alpha)
    efka1(i) = fk
    flk = fdp / fk
    mtbf = gamma + beta * (((Math.Log(1 / (1 - p(i)))) ^ (1 / alpha)) / Math.Log(2.71878))
    List1.AddItem data(i) & " | " & fk & " | " & flk

```

```

titik1(i).Left = (765 + (data(i) / 1200000) * 5940) - 189
titik1(i).Top = (9165 - (fk / 1.2) * 3885) - 8

```

```

titik11(i).Left = (8805 + (data(i) / 1200000) * 5940) - 189
titik11(i).Top = (9165 - ((flk - 0.0000001) / (0.000045)) * 3885) - 8

```

Next i

```

For i = 1 To N - 2
    Load garis1(i)
    Load garis11(i)
Next

```


For i = 0 To N - 2

```
garis1(i).X1 = titik1(i).Left  
garis1(i).Y1 = titik1(i).Top  
garis1(i).X2 = titik1(i + 1).Left  
garis1(i).Y2 = titik1(i + 1).Top
```

```
garis11(i).X1 = titik11(i).Left  
garis11(i).Y1 = titik11(i).Top  
garis11(i).X2 = titik11(i + 1).Left  
garis11(i).Y2 = titik11(i + 1).Top
```

Next i

n1 = N

Text1.Text = N

Dim nrata2rsk, nRnrsk As Double

nrata2rsk = gamma + beta * (((Math.Log(1 / (1 - 0.9))) ^ (1 / alpha)) / Math.Log(2.71878))

txtnrskO.Text = nrata2rsk

nRnrsk = Math.Exp(-((nrata2rsk - gamma) / beta) ^ alpha)

txtnrskrnO.Text = nRnrsk

ttkrmO.Left = (765 + (nrata2rsk / 1200000) * 5940) - 189

ttkrmO.Top = (9165 - (nRnrsk / 1.2) * 3885) - 8

End Sub

Private Sub cmdproc1_Click()

cmdproc1.Enabled = False

showgrap.Enabled = True

List2.Clear

Dim i, N As Integer

Dim data(100) As Double

Dim Cycle As Double

N = 1

'Cells(16, 3) = Val(txtminR) '8, 7

data(0) = Val(txtminR1)

List1.AddItem data(0)

Cycle = Val(txtminR1)

i = 1

Cycle = Cycle + Val(txtinrv11)

While (Cycle <= Val(txtmaxR1.Text))

'Cells(16 + i, 3) = Cycle '8+i,7

data(i) = Cycle

List1.AddItem data(i)

Cycle = Cycle + Val(txtinrv11)

i = i + 1

N = i

Wend

```

Dim p(100) As Double
For i = 0 To N - 1
    'Cells(15 + i, 5) = (i - 0.5) / n '22 + i, 7
    p(i) = ((i + 1) - 0.5) / N
Next i

```

```

Dim w(100) As Double
For i = 0 To N - 1
    'Cells(15 + i, 7) = WorksheetFunction.Ln(1 / (1 - Cells(15 + i, 5))) '36 + i, 7 '22 + i, 7
    w(i) = Math.Log(1 / (1 - p(i))) / Math.Log(2.71878) '36 + i, 7
    'List1.AddItem w(i)
Next i

```

```

Dim oldssr, ssr, alpha, beta, gamma, r1, r2, r3, r4, r5, resi, uni As Double
ssr = 100000000000000#
oldssr = 100000000000001#
alpha = 1
Dim j, k As Integer
j = 1
k = 0
While (ssr < oldssr)
    'Cells(101, 4) = 1
    oldssr = ssr
    r1 = 0
    For i = 0 To N - 1
        r1 = r1 + data(i) * w(i) ^ (1 / alpha)
    Next i
    r1 = N * r1

    r2 = 0
    For i = 0 To N - 1
        r2 = r2 + data(i)
    Next i

    r3 = 0
    For i = 0 To N - 1
        r3 = r3 + w(i) ^ (1 / alpha)
    Next i

    r4 = 0
    For i = 0 To N - 1
        r4 = r4 + w(i) ^ (2 / alpha)
    Next i
    r4 = N * r4

    r5 = r3 ^ 2

    beta = (r1 - r2 * r3) / (r4 - r5)

```

```
gamma = (r2 * (r4 / N) - (r1 / N) * r3) / (r4 - r5)
```

```
'Cells(3, 10) = beta
```

```
'Cells(4, 10) = gamma
```

```
For i = 0 To N - 1
```

```
    uni = gamma + beta * (w(i) ^ (1 / alpha))
```

```
Next i
```

```
For i = 0 To N - 1
```

```
    resi = uni - data(i)
```

```
Next i
```

```
ssr = 0
```

```
For i = 0 To N - 1
```

```
    ssr = ssr + (gamma + beta * w(i) ^ (1 / alpha) - data(i)) ^ 2
```

```
Next i
```

```
'Cells(15 + j, 10) = ssr
```

```
'Cells(15 + j, 9) = alpha
```

```
alpha = alpha + 1
```

```
j = j + 1
```

```
k = k + 1
```

```
Form2.chartw1.ColumnCount = 1
```

```
Form2.chartw1.RowCount = k
```

```
Form2.chartw1.Row = k
```

```
Form2.chartw1.RowLabel = alpha
```

```
Form2.chartw1.data = ssr
```

```
Form2.chartw1.ColumnLabel = ssr
```

```
Wend
```

```
'iterasi 2
```

```
ssr = 10000000000000#
```

```
oldssr = 10000000000001#
```

```
alpha = alpha - 3
```

```
j = 1
```

```
k = 0
```

```
While (ssr < oldssr)
```

```
    'Cells(101, 4) = 1
```

```
    oldssr = ssr
```

```
    r1 = 0
```

```
    For i = 0 To N - 1
```

```
        r1 = r1 + data(i) * w(i) ^ (1 / alpha)
```

```
    Next i
```

```
    r1 = N * r1
```

```
    r2 = 0
```

```
    For i = 0 To N - 1
```

```
        r2 = r2 + data(i)
```

```
    Next i
```

```
r3 = 0
For i = 0 To N - 1
    r3 = r3 + w(i) ^ (1 / alpha)
Next i
```

```
r4 = 0
For i = 0 To N - 1
    r4 = r4 + w(i) ^ (2 / alpha)
Next i
r4 = N * r4
```

```
r5 = r3 ^ 2
```

```
beta = (r1 - r2 * r3) / (r4 - r5)
```

```
gamma = (r2 * (r4 / N) - (r1 / N) * r3) / (r4 - r5)
'Cells(3, 10) = beta
'Cells(4, 10) = gamma
```

```
For i = 0 To N - 1
    uni = gamma + beta * (w(i) ^ (1 / alpha))
Next i
```

```
For i = 0 To N - 1
    resi = uni - data(i)
Next i
```

```
ssr = 0
For i = 0 To N - 1
    ssr = ssr + (gamma + beta * w(i) ^ (1 / alpha) - data(i)) ^ 2
Next i
```

```
'Cells(15 + j, 10) = ssr
'Cells(15 + j, 9) = alpha
alpha = alpha + 0.1
j = j + 1
k = k + 1
```

```
Form2.chartw2.ColumnCount = 1
Form2.chartw2.RowCount = k
Form2.chartw2.Row = k
Form2.chartw2.RowLabel = alpha
Form2.chartw2.data = ssr
Form2.chartw2.ColumnLabel = ssr
```

```
Wend
```

```
' iterasi 3
```

```
ssr = 10000000000000000#
```

```
oldssr = 100000000000001#
```



```

alpha = alpha - 0.3
j = 1
k = 0
While (ssr < oldssr)
  'Cells(101, 4) = 1
  oldssr = ssr
  r1 = 0
  For i = 0 To N - 1
    r1 = r1 + data(i) * w(i) ^ (1 / alpha)
  Next i
  r1 = N * r1

  r2 = 0
  For i = 0 To N - 1
    r2 = r2 + data(i)
  Next i

  r3 = 0
  For i = 0 To N - 1
    r3 = r3 + w(i) ^ (1 / alpha)
  Next i

  r4 = 0
  For i = 0 To N - 1
    r4 = r4 + w(i) ^ (2 / alpha)
  Next i
  r4 = N * r4

  r5 = r3 ^ 2

  beta = (r1 - r2 * r3) / (r4 - r5)

---


  gamma = (r2 * (r4 / N) - (r1 / N) * r3) / (r4 - r5)
  'Cells(3, 10) = beta
  'Cells(4, 10) = gamma

  For i = 0 To N - 1
    uni = gamma + beta * (w(i) ^ (1 / alpha))
  Next i

  For i = 0 To N - 1
    resi = uni - data(i)
  Next i

  ssr = 0
  For i = 0 To N - 1
    ssr = ssr + (gamma + beta * w(i) ^ (1 / alpha) - data(i)) ^ 2
  Next i

```

```

'Cells(15 + j, 10) = ssr
'Cells(15 + j, 9) = alpha
alpha = alpha + 0.01
j = j + 1
k = k + 1
Form2.chartw3.ColumnCount = 1
Form2.chartw3.RowCount = k
Form2.chartw3.Row = k
Form2.chartw3.RowLabel = alpha
Form2.chartw3.data = ssr
Form2.chartw3.ColumnLabel = ssr

```

```
Wend
```

```
'iterasi 4
```

```
Dim ssr2(100) As Double
```

```
ssr = 10000000000000#
```

```
oldssr = 100000000000001#
```

```
alpha = alpha - 0.03
```

```
j = 1
```

```
k = 0
```

```
While (ssr < oldssr)
```

```
    'Cells(101, 4) = 1
```

```
    oldssr = ssr
```

```
    r1 = 0
```

```
    For i = 0 To N - 1
```

```
        r1 = r1 + data(i) * w(i) ^ (1 / alpha)
```

```
    Next i
```

```
    r1 = N * r1
```

```
    r2 = 0
```

```
    For i = 0 To N - 1
```

```
        r2 = r2 + data(i)
```

```
    Next i
```

```
    r3 = 0
```

```
    For i = 0 To N - 1
```

```
        r3 = r3 + w(i) ^ (1 / alpha)
```

```
    Next i
```

```
    r4 = 0
```

```
    For i = 0 To N - 1
```

```
        r4 = r4 + w(i) ^ (2 / alpha)
```

```
    Next i
```

```
    r4 = N * r4
```

```
    r5 = r3 ^ 2
```

```
    beta = (r1 - r2 * r3) / (r4 - r5)
```

```
gamma = (r2 * (r4 / N) - (r1 / N) * r3) / (r4 - r5)
'Cells(3, 10) = beta
'Cells(4, 10) = gamma
```

```
For i = 0 To N - 1
    uni = gamma + beta * (w(i) ^ (1 / alpha))
Next i
```

```
For i = 0 To N - 1
    resi = uni - data(i)
Next i
```

```
ssr = 0
For i = 0 To N - 1
    ssr = ssr + (gamma + beta * w(i) ^ (1 / alpha) - data(i)) ^ 2
Next i
```

```
'Cells(15 + j, 10) = ssr
'Cells(15 + j, 9) = alpha
alpha = alpha + 0.001
j = j + 1
k = k + 1
Form2.chartw4.ColumnCount = 1
Form2.chartw4.RowCount = k
Form2.chartw4.Row = k
Form2.chartw4.RowLabel = alpha
Form2.chartw4.data = ssr
Form2.chartw4.ColumnLabel = ssr
```

```
Wend
```

```
txtssr1 = oldssr
txtalpha1 = alpha - 0.002
txtbeta1 = beta
txtgamma1 = gamma
```

```
Dim fdp, fdk, fk, flk, mtbf As Double
Dim dat As Double
dat = 200000
```

```
'j = 1
For i = 1 To N - 1
    Load titik2(i)
```

```

Load titik21(i)
Next

For i = 0 To N - 1
    fdp = (alpha / beta) * ((data(i) - gamma) / beta) ^ (alpha - 1) * Math.Exp(-((data(i) - gamma) / beta) ^ alpha)
    fdk = 1 - Math.Exp(-((data(i) - gamma) / beta) ^ alpha)
    fk = Math.Exp(-((data(i) - gamma) / beta) ^ alpha)
    efka2(i) = fk
    flk = fdp / fk
    mtbf = gamma + beta * (((Math.Log(1 / (1 - p(i)))) ^ (1 / alpha)) / Math.Log(2.71878))
    List2.AddItem data(i) & " | " & fk & " | " & flk

    'titik2(i).Visible = True
    titik2(i).Left = (765 + (data(i) / 1200000) * 5940) - 189
    titik2(i).Top = (9165 - (fk / 1.2) * 3885) - 8

    'titik21(i).Visible = True
    titik21(i).Left = (8805 + (data(i) / 1200000) * 5940) - 189
    titik21(i).Top = (9165 - ((flk - 0.0000001) / (0.000045)) * 3885) - 8
Next i

For i = 1 To N - 2
    Load garis2(i)
    Load garis21(i)
Next
For i = 0 To N - 2

    garis2(i).X1 = titik2(i).Left
    garis2(i).Y1 = titik2(i).Top
    garis2(i).X2 = titik2(i + 1).Left
    garis2(i).Y2 = titik2(i + 1).Top

    garis21(i).X1 = titik21(i).Left
    garis21(i).Y1 = titik21(i).Top
    garis21(i).X2 = titik21(i + 1).Left
    garis21(i).Y2 = titik21(i + 1).Top
Next i
Text2.Text = N
n2 = N

Dim nrata2rsk, nRnrsk As Double
nrata2rsk = gamma + beta * (((Math.Log(1 / (1 - 0.9)))) ^ (1 / alpha)) / Math.Log(2.71878))
txtnrskP.Text = nrata2rsk
nRnrsk = Math.Exp(-((nrata2rsk - gamma) / beta) ^ alpha)
txtnrskmP.Text = nRnrsk

ttkrmP.Left = (765 + (nrata2rsk / 1200000) * 5940) - 189
ttkrmP.Top = (9165 - (nRnrsk / 1.2) * 3885) - 8

```


End Sub

```
Private Sub Command1_Click()  
Form3.Show  
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()  
Form2.Show  
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()  
txtalpha.Text = ""  
txtalpha1.Text = ""  
txtbeta.Text = ""  
txtbeta1.Text = ""  
txtgamma.Text = ""  
txtgamma1.Text = ""  
txtintrvl.Text = ""  
txtintrvl1.Text = ""  
txtmaxR.Text = ""  
txtmaxR1.Text = ""  
txtminR.Text = ""  
txtminR1.Text = ""  
txtnrskO.Text = ""  
txtnrskP.Text = ""  
txtnrskmO.Text = ""  
txtnrskmP.Text = ""  
txtssr.Text = ""  
txtssr1.Text = ""  
List1.Clear  
List2.Clear  
txtminR.SetFocus  
Command3.Enabled = False  
cmdproc.Enabled = True  
cmdproc1.Enabled = True  
For i = 1 To Val(Text1.Text) - 1  
    Unload titik1(i)  
    Unload titik11(i)  
Next  
For i = 1 To Val(Text1.Text) - 2  
    Unload garis1(i)  
    Unload garis11(i)  
Next  
For i = 1 To Val(Text2.Text) - 1  
    Unload titik2(i)  
    Unload titik21(i)  
Next
```

```
For i = 1 To Val(Text2.Text) - 2
    Unload garis2(i)
    Unload garis21(i)
Next
```

```
titik1(0).Visible = False
garis1(0).Visible = False
titik2(0).Visible = False
garis2(0).Visible = False
ttkrnO.Visible = False
ttkrnP.Visible = False
```

```
For i = 1 To Val(Text1.Text) - 1
    'Load titik1(i)
    'titik1(i).Visible = False
Next
```

```
For i = 1 To Val(Text1.Text) - 2
    'Load garis1(i)
    'garis1(i).Visible = False
Next
```

```
For i = 1 To Val(Text2.Text) - 1
    'Load titik2(i)
    'titik2(i).Visible = False
Next
```

```
For i = 1 To Val(Text2.Text) - 2
    'Load garis2(i)
    'garis2(i).Visible = False
Next
```

```
'lbl(0).Caption = 0 * 200000
'lbl(0).Visible = True
'lbl(0).Top = 9265
'lbl(0).Left = (765 + (0 * 951)) - 350
'
```

```
'lbly(0).Caption = 0 * 0.2
'lbly(0).Visible = True
'lbly(0).Top = (9165 - (0 * 633)) - 95
'lbly(0).Left = 285
```

```
'gridx(0).Visible = True
'gridx(0).X1 = 720
'gridx(0).X2 = 5475
'gridx(0).Y1 = (8685 - (0 * 633))
'gridx(0).Y2 = (8685 - (0 * 633))
lbl(0).Visible = False
lbly(0).Visible = False
For i = 1 To 6
```


Unload lbl(i)

```
' lbl(i).Caption = i * 200000  
' lbl(i).Visible = True  
' lbl(i).Top = 9265  
' lbl(i).Left = (765 + (i * 951)) - 350
```

Unload lbly(i)

```
' lbly(i).Caption = i * 0.2  
' lbly(i).Visible = True  
' lbly(i).Top = (9165 - (i * 633)) - 95  
' lbly(i).Left = 285
```

Unload gridx(i)

```
' gridx(i).Visible = True  
' gridx(i).X1 = 720  
' gridx(i).X2 = 6660  
' gridx(i).Y1 = (9165 - (i * 633))  
' gridx(i).Y2 = (9165 - (i * 633))
```

Unload gridy(i)

```
' gridy(i).Visible = True  
' gridy(i).X1 = (765 + (i * 951))  
' gridy(i).X2 = (765 + (i * 951))  
' gridy(i).Y1 = 5280  
' gridy(i).Y2 = 9165
```

Next i

'Form4.Show

'Form5.Show

titik11(0).Visible = False

garis11(0).Visible = False

titik21(0).Visible = False

garis21(0).Visible = False

For i = 1 To Val(Text1.Text) - 1

 'Load titik11(i)

 'titik11(i).Visible = False

Next

For i = 1 To Val(Text1.Text) - 2

 'Load garis11(i)

 'garis11(i).Visible = False

Next

For i = 1 To Val(Text2.Text) - 1

 'Load titik21(i)

 'titik21(i).Visible = False

Next

For i = 1 To Val(Text2.Text) - 2

 'Load garis21(i)

```

'garis21(i).Visible = False
Next

'lbl1(0).Caption = 0 * 200000
'lbl1(0).Visible = True
'lbl1(0).Top = 9265
'lbl1(0).Left = (8805 + (0 * 951)) - 350
'
'lbly1(0).Caption = 0.0000001 + (0 * 0.000005)
'lbly1(0).Visible = True
'lbly1(0).Top = (9165 - (0 * 633)) - 95
'lbly1(0).Left = 7900
lbl1(0).Visible = False
lbly1(0).Visible = False
For i = 1 To 6
  Unload lbl1(i)
  ' lbl1(i).Caption = i * 200000
  ' lbl1(i).Visible = True
  ' lbl1(i).Top = 9265
  ' lbl1(i).Left = (8805 + (i * 951)) - 350

  Unload lbly1(i)
  ' lbly1(i).Caption = 0.0000001 + (i * 0.0000075)
  ' lbly1(i).Visible = True
  ' lbly1(i).Top = (9165 - (i * 633)) - 95
  ' lbly1(i).Left = 7900

  Unload gridx1(i)
  ' gridx1(i).Visible = True
  ' gridx1(i).X1 = 8760
  ' gridx1(i).X2 = 14700
  ' gridx1(i).Y1 = (9165 - (i * 633))
  ' gridx1(i).Y2 = (9165 - (i * 633))

  Unload gridy1(i)
  ' gridy1(i).Visible = True
  ' gridy1(i).X1 = (8805 + (i * 951))
  ' gridy1(i).X2 = (8805 + (i * 951))
  ' gridy1(i).Y1 = 5280
  ' gridy1(i).Y2 = 9165
Next
End Sub

Private Sub Form_Load()
'resize = 1
End Sub

Private Sub Label21_Click()
Form4.Show
End Sub

```



```
Private Sub Label22_Click()  
Form5.Show  
End Sub
```

```
Private Sub showgrap_Click()  
showgrap.Enabled = False  
Command3.Enabled = True  
titik1(0).Visible = True  
garis1(0).Visible = True  
titik2(0).Visible = True  
garis2(0).Visible = True  
ttkrnO.Visible = True  
ttkrnP.Visible = True
```

```
For i = 1 To Val(Text1.Text) - 1  
    Load titik1(i)  
    titik1(i).Visible = True  
Next
```

```
For i = 1 To Val(Text1.Text) - 2  
    Load garis1(i)  
    garis1(i).Visible = True  
Next
```

```
For i = 1 To Val(Text2.Text) - 1  
    Load titik2(i)  
    titik2(i).Visible = True  
Next
```

```
For i = 1 To Val(Text2.Text) - 2  
    Load garis2(i)  
    garis2(i).Visible = True  
Next
```

```
lbl(0).Caption = 0 * 200000  
lbl(0).Visible = True  
lbl(0).Top = 9265  
lbl(0).Left = (765 + (0 * 951)) - 350
```

```
lbly(0).Caption = 0 * 0.2  
lbly(0).Visible = True  
lbly(0).Top = (9165 - (0 * 633)) - 95  
lbly(0).Left = 285
```

```
'gridx(0).Visible = True  
'gridx(0).X1 = 720  
'gridx(0).X2 = 5475  
'gridx(0).Y1 = (8685 - (0 * 633))  
'gridx(0).Y2 = (8685 - (0 * 633))
```

```
For i = 1 To 6
  Load lbl(i)
  lbl(i).Caption = i * 200000
  lbl(i).Visible = True
  lbl(i).Top = 9265
  lbl(i).Left = (765 + (i * 951)) - 350
```

```
  Load lbly(i)
  lbly(i).Caption = i * 0.2
  lbly(i).Visible = True
  lbly(i).Top = (9165 - (i * 633)) - 95
  lbly(i).Left = 285
```

```
  Load gridx(i)
  gridx(i).Visible = True
  gridx(i).X1 = 720
  gridx(i).X2 = 6660
  gridx(i).Y1 = (9165 - (i * 633))
  gridx(i).Y2 = (9165 - (i * 633))
```

```
  Load gridy(i)
  gridy(i).Visible = True
  gridy(i).X1 = (765 + (i * 951))
  gridy(i).X2 = (765 + (i * 951))
  gridy(i).Y1 = 5280
  gridy(i).Y2 = 9165
```

```
Next i
'Form4.Show
'Form5.Show
```

```
titik11(0).Visible = True
garis11(0).Visible = True
titik21(0).Visible = True
garis21(0).Visible = True
For i = 1 To Val(Text1.Text) - 1
  'Load titik11(i)
  titik11(i).Visible = True
Next
```

```
For i = 1 To Val(Text1.Text) - 2
  'Load garis11(i)
  garis11(i).Visible = True
Next
```

```
For i = 1 To Val(Text2.Text) - 1
  'Load titik21(i)
  titik21(i).Visible = True
Next
```

```
For i = 1 To Val(Text2.Text) - 2
```



```
Load garis21(i)
garis21(i).Visible = True
Next
```

```
lbl1(0).Caption = 0 * 200000
lbl1(0).Visible = True
lbl1(0).Top = 9265
lbl1(0).Left = (8805 + (0 * 951)) - 350
```

```
lbly1(0).Caption = 0.0000001 + (0 * 0.000005)
lbly1(0).Visible = True
lbly1(0).Top = (9165 - (0 * 633)) - 95
lbly1(0).Left = 7900
```

```
For i = 1 To 6
```

```
Load lbl1(i)
lbl1(i).Caption = i * 200000
lbl1(i).Visible = True
lbl1(i).Top = 9265
lbl1(i).Left = (8805 + (i * 951)) - 350
```

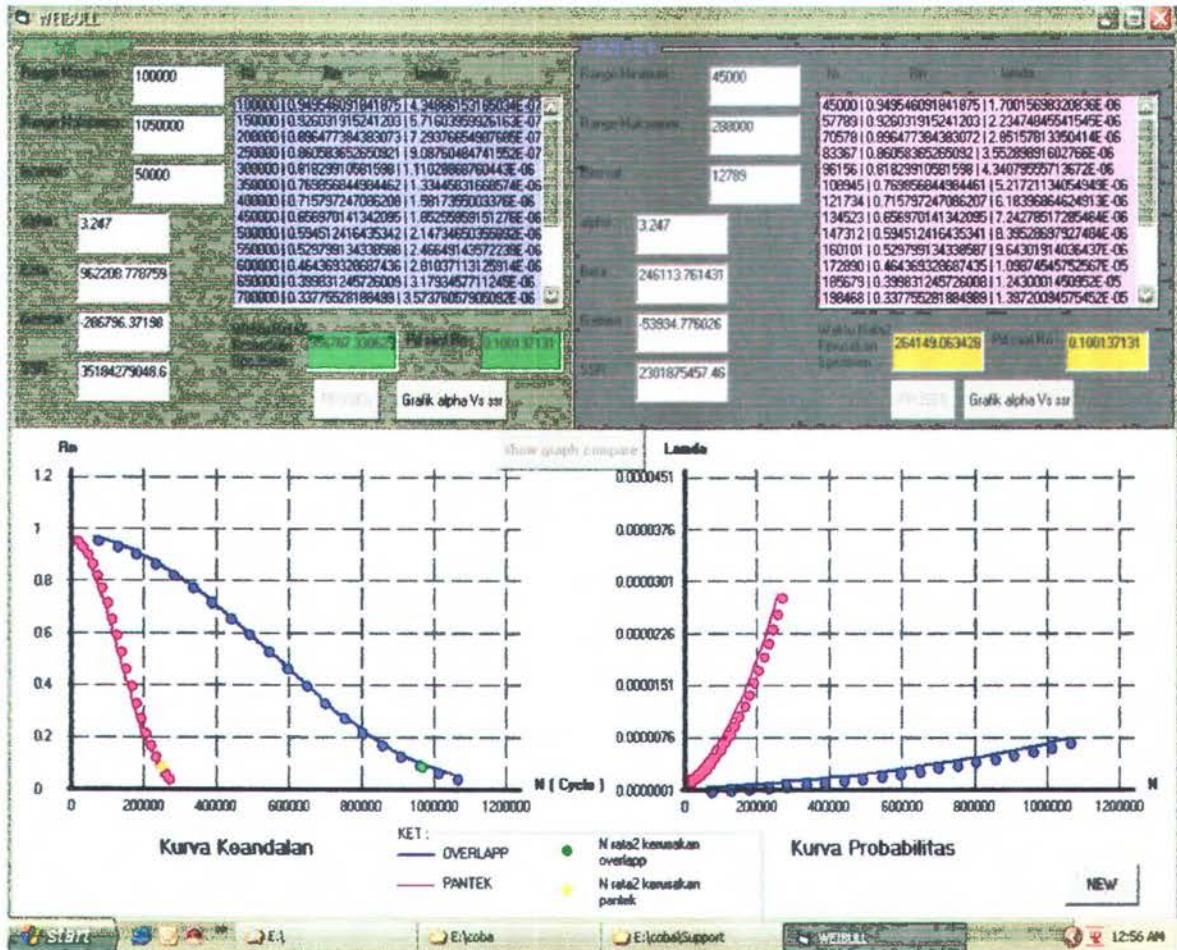
```
Load lbly1(i)
lbly1(i).Caption = 0.0000001 + (i * 0.0000075)
lbly1(i).Visible = True
lbly1(i).Top = (9165 - (i * 633)) - 95
lbly1(i).Left = 7900
```

```
Load gridx1(i)
gridx1(i).Visible = True
gridx1(i).X1 = 8760
gridx1(i).X2 = 14700
gridx1(i).Y1 = (9165 - (i * 633))
gridx1(i).Y2 = (9165 - (i * 633))
```

```
Load gridy1(i)
gridy1(i).Visible = True
gridy1(i).X1 = (8805 + (i * 951))
gridy1(i).X2 = (8805 + (i * 951))
gridy1(i).Y1 = 5280
gridy1(i).Y2 = 9165
```

```
Next
End Sub
```

TAMPILAN PROGRAM



BIODATA PENULIS

DATA PRIBADI



- ⊕ Nama = Syarif Hidayat
- ⊕ Tempat/ tanggal lahir = Ujung Pandang, 21 Maret 1982
- ⊕ Alamat = Komp. Prumnas Air ruay Tp. 45 No. 14A
Sungailiat Bangka-belitung
- ⊕ Jenis Kelamin = Laki – laki
- ⊕ Status = Belum menikah
- ⊕ Warga Negara / suku = Indonesia / Campur
- ⊕ Agama = Islam
- ⊕ Pekerjaan = Mahasiswa
- ⊕ Hobi = Membaca, Renang, Sepakbola, Komputer

PENDIDIKAN FORMAL

☞ (1989 – 1995)

Sekolah Dasar : SD Muhammadiyah Sungailiat, Bangka-belitung.

☞ (1995 – 1998)

Sekolah Menengah Pertama : SMPN 1 Sungailiat, Bangka-belitung.

☞ (1998 – 2001)

Sekolah Menengah Umum : SMUN 1 Sungailiat, Bangka-belitung.

☞ (2002 – 2007)

Sarjana Teknik (ST) : Bidang Studi Konstruksi dan Kekuatan, Jurusan Teknik Perkapalan,
Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.