

## **Pengembangan Formula SCF untuk Analisa Kelelahan *Joint* (Sambungan) T pada Struktur Bangunan Lepas Pantai**

Ricky L Tawekal<sup>1)</sup>  
Fitriany<sup>2)</sup>  
M. Taufan Tukuboya<sup>3)</sup>

### **Abstrak**

*Beban pada sambungan tubular akan menimbulkan tegangan hotspot, yaitu tegangan maksimum pada kaki sambungan yang besarnya beberapa kali dari tegangan nominal sehingga memacu percepatan timbulnya kelelahan pada struktur akibat beban yang berulang (siklik). Perbandingan antara tegangan-tegangan hotspot dan tegangan nominal disebut Stress Concentration Factor (SCF).*

*Pada makalah ini, dikembangkan rumus empiris SCF baru dengan menggunakan pemodelan elemen hingga. Perangkat lunak ANSYS versi 9 digunakan untuk menganalisis tegangan pada sambungan tubular struktur berupa joint T. Rumus empiris SCF baru dikembangkan berdasarkan data geometris tubular utama (chord) dan tubular sekunder (brace), yaitu diameter chord ( $D$ ), diameter brace ( $d$ ), ketebalan chord ( $T$ ), ketebalan brace ( $t$ ), panjang chord ( $L$ ), panjang brace ( $l$ ), dengan mengacu pada rasio perbandingan geometris yang digunakan untuk persamaan parametrik.*

**Kata-kata Kunci:** SCF, kelelahan, sambungan tubular, rumus empiris, parametrik.

### **Abstract**

*Loading on tubular joints will create hotspot stresses at intersection which several times higher than the nominal stress so that accelerate fatigue to the joints due to cyclic loadings. The ratio of hotspot stress and the nominal stress is called Stress Concentration Factor (SCF).*

*In this paper, new empirical formulas of SCF are developed by using finite element modeling. ANSYS software is used to analyze stresses at T joint. The new empirical formula of SCF is developed based on geometric data of chord and brace, namely diameter of chord ( $D$ ), diameter of brace ( $d$ ), thickness of chord ( $T$ ), thickness of brace ( $t$ ), length of chord ( $L$ ), length of brace ( $l$ ), by having reference geometric comparison for parametric formula.*

**Keywords:** SCF, fatigue, tubular joint, empirical formula, parametric.

## **1. Pendahuluan**

Struktur lepas pantai akan selalu mengalami pembebanan akibat lingkungan seperti akibat angin, gelombang dan arus. Gaya hidrodinamik akibat gelombang merupakan pertimbangan utama dalam analisa kelelahan (*fatigue*) karena tegangan yang timbul akibat beban ini merupakan tegangan siklik yang terjadi terus menerus meskipun tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan pada kondisi ekstrim.

Struktur anjungan lepas pantai tipe jacket merupakan suatu konstruksi yang sangat kompleks yang terdiri dari berbagai macam elemen struktur seperti silinder,

pelat, rangka, balok, dan lain-lain. Struktur anjungan lepas pantai harus mampu mengantisipasi beban yang bekerja sesuai dengan kriteria yang berlaku. Bagian struktur di bawah permukaan air (*jacket*) umumnya terdiri dari struktur silinder dengan penampang lingkaran (*tubular member*) dalam berbagai ukuran. Permasalahan utama dari struktur tubular adalah sambungan antara tubular utama (*Chord*) dengan tubular sekunder (*braces*) dapat menjadikan posisi sambungan kritis, karena posisi pengerjaan pengelasan dan fabrikasi yang susah serta karakteristik sambungan terhadap beban menjadi kompleks. Permasalahan lain dari sambungan tubular adalah tegangan pada sambungan tubular dapat

1. Staf Pengajar, PST Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan-ITB.

2. Mahasiswa Rekayasa Kelautan, Program Magister Teknik Sipil FTSL-ITB.

3. Mahasiswa Rekayasa Struktur, Program Magister Teknik Sipil FTSL-ITB.

menimbulkan tegangan hotspot yaitu tegangan maksimum pada sambungan (*intersection*) yang dapat memacu percepatan timbulnya kelelahan pada struktur (*fatigue*) akibat beban yang berulang. Karena itu, fatigue merupakan salah satu moda keruntuhan bangunan lepas pantai yang patut diwaspadai terutama pada struktur yang mempunyai banyak sambungan tubular. Bentuk kegagalan suatu sambungan tubular pada dasarnya merupakan fungsi daripada jenis sambungan, parameter sambungan dan kondisi pembebanan struktur.

Perbandingan antara tegangan-tegangan hotspot dan tegangan nominal disebut *Stress Concentration Factor (SCF)*. SCF ini berpengaruh terhadap masa layan (*service life*) suatu struktur lepas pantai.

Dalam makalah ini akan dibahas perhitungan dan pengembangan formula empiris SCF sambungan tubular T berdasarkan geometri tubular utama (*chord*) dan tubular sekunder (*brace*), yaitu diameter *brace* (*d*), diameter *chord* (*D*), ketebalan *brace* (*t*), ketebalan *chord* (*T*), panjang *brace* (*l*), panjang *chord* (*L*), serta kombinasi perubahan parameter tersebut. Pembuatan model elemen hingga dari sambungan tubular dilakukan dengan program Ansys, hasil yang diperoleh berupa gambaran penyebaran tegangan akibat berbagai jenis pembebanan dan gambaran pengaruh perubahan parameter terhadap konsentrasi tegangan yang terjadi pada sambungan tubular yang akan dianalisa. Tegangan yang diperoleh dari analisa elemen hingga berupa tegangan Von Misses. Kemudian dari hasil pengamatan pada sambungan joint T dengan penguat tersebut akan dianalisa perbandingannya dan akan dirumuskan kedalam sebuah persamaan empiris baru untuk analisa SCF.

## 2. Teori Kelelahan pada Sambungan

### 2.1 Kegagalan sambungan akibat kelelahan

Dalam sambungan *tubular* yang sederhana, bagian *brace* dilas secara tersendiri kepada bagian *chord* pada kaki jacket. *Chord* berfungsi untuk menyalurkan beban dari satu *brace* ke *brace* yang lainnya, dan menahan tegangan momen lentur terlokalisasi yang besar pada saat struktur dibebani. Pada saat *chord* menyalurkan beban terhadap *brace* maka tegangan pada *joint* tersebut akan mencapai maksimum. Sambungan *chord* dan *brace* yang dilas, dalam proses fabrikasi, pada saat las mendingin akan terbentuk retak *mikro* pada ujung-ujung las. Retak *mikro* ini akan melebar bila *member* mengalami tegangan siklik dan akan merekah hingga penampang *member* tidak lagi kuat untuk mentransfer beban, akibatnya *member* akan runtuh. Peristiwa inilah yang disebut kegagalan akibat *fatigue* (seperti terlihat pada **Gambar 1**). Kenyataan bahwa *welded joint* rawan terhadap kegagalan karena kelelahan (*fatigue failure*)

menyebabkan analisis dan desain harus dilakukan terhadap *joint-joint* tertentu yang kritis, untuk umur struktur yang direncanakan.

### 2.2 Geometri sambungan Tubular T

Geometri sambungan tubular T diperlihatkan pada **Gambar 2**.

### 2.3 Perhitungan SCF (*Stress Concentration Factor*)

Tegangan nominal pada bagian struktur akibat momen dan gaya aksial yang diperoleh dari analisa struktur belum mencukupi untuk analisa fatigue. Karena belum memberikan tegangan hotspot, yang didefinisikan sebagai tegangan terburuk pada kaki sambungan tubular yang diukur pada model test atau yang dihitung dengan teori yang keakuratannya bisa dibandingkan.

*Stress Concentration Factor (SCF)*, adalah perbandingan antara tegangan *hotspot* dan tegangan nominal, yang perumusannya seperti di bawah ini :

$$SCF = \frac{\sigma_{HS}}{\sigma_N} \quad (1)$$

Perhitungan tegangan hotspot umumnya melibatkan teori cangkang yang cermat dan teliti, analisa elemen - elemen hingga atau analisa tegangan eksperimental. Untuk desain rutin, digunakan rumus empiris yang berdasarkan pada konsep punching shear yang telah berkembang untuk menangani pertimbangan batas kekuatan statis dan kelelahan.

SCF yang terjadi pada sambungan dapat diakibatkan oleh beban aksial, *momen out-plane* dan *momen in-plane*, seperti pada **Gambar 3**.

## 3. Persamaan Empiris SCF Tubular J.G Kuang

Persamaan empiris *J.G Kuang* dikembangkan untuk *range* geometri tertentu yaitu :

$$8,333 \leq \gamma \leq 33,3$$

$$0,20 \leq \tau \leq 0,8$$

$$0,3 \leq \beta \leq 0,8$$

$$6,667 \leq \alpha \leq 40$$

$$0^\circ \leq \sigma \leq 90^\circ$$

*J.G Kuang* merumuskan suatu persamaan empiris untuk perhitungan SCF, berdasarkan eksperimen yang dilakukan. Rumus empiris ini akan dijadikan bahan perbandingan dengan hasil analisis dari pengamatan

model elemen hingga pada ANSYS untuk joint T. Parameter yang digunakan dalam persamaan J. G. Kuang adalah:

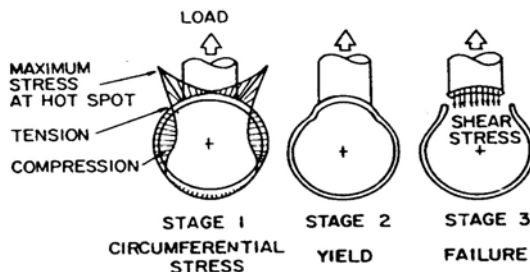
$$\beta = \frac{d}{D}$$

$$\alpha = \frac{2L}{D}$$

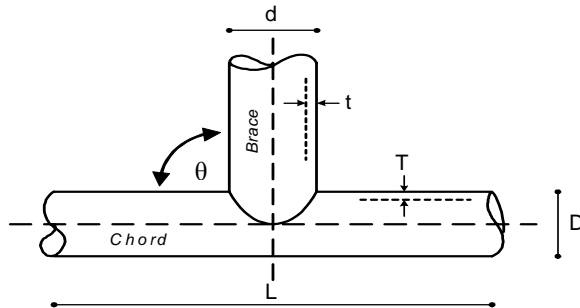
$$\tau = \frac{t}{T}$$

$$\gamma = \frac{D}{2T}$$

dimensi-dimensi di atas mengacu pada dimensi yang ditunjukkan pada Gambar 2.

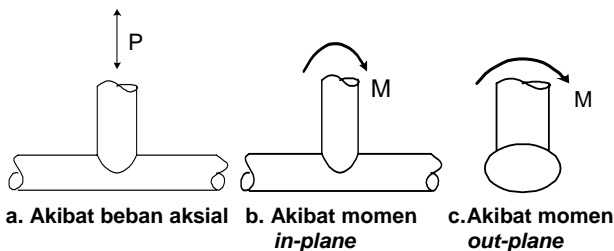


Gambar 1. Kegagalan akibat fatigue (W.J Graff, 1981)



Gambar 2. Geometri sambungan T

D = diameter luar dari chord (=2R)  
d = diameter luar dari brace (=2r)  
T = ketebalan chord  
t = ketebalan brace  
L = panjang chord



Gambar 3. Jenis gaya dan momen yang bekerja pada sambungan

Persamaan J.G Kuang adalah sebagai berikut :

Joint T akibat beban aksial

$$SCF_{Chord} = 1,981 \gamma^{0,808} \tau^{1,333} \exp(-1,2\beta^3) \alpha^{0,057} \sin^{1,694} \theta \quad (2)$$

$$SCF_{BRACE} = 3,751 \gamma^{0,55} \tau_{exp}(-1,35\beta^3) \alpha^{0,12} \sin^{1,94} \theta \quad (3)$$

Joint T akibat momen in plane

$$SCF_{CHORD} = 0,702 \gamma^{0,60} \tau^{0,86} \beta^{(-0,04)} \sin^{0,57} \theta \quad (4)$$

$$SCF_{BRACE} = 1,301 \gamma^{0,23} \tau^{0,38} \beta^{(-0,38)} \sin^{0,21} \theta \quad (5)$$

Joint T akibat momen out – plane

$$SCF_{CHORD} = 1,024 \gamma^{1,014} \tau^{0,889} \beta^{0,787} \sin^{1,557} \theta \quad 0,3 \leq \beta \leq 0,55 \quad (6)$$

$$SCF_{CHORD} = 0,462 \gamma^{1,014} \tau^{0,889} \beta^{(-0,619)} \sin^{1,557} \theta \quad 0,55 \leq \beta \leq 0,75 \quad (7)$$

$$SCF_{BRACE} = 1,522 \gamma^{0,852} \tau^{0,543} \beta^{0,801} \sin^{2,033} \theta \quad 0,3 \leq \beta \leq 0,5$$

#### 4. Pemodelan Elemen Hingga (8)

$$SCF_{BRACE} = 0,796 \gamma^{0,852} \tau^{0,543} \beta^{(-0,281)} \sin^{2,033} \theta \quad 0,55 \leq \beta \leq 0,75$$

#### Sambungan Tubular T (9)

##### 4.1 Pengumpulan data

Pengumpulan data yang akan digunakan pada penelitian ini terdiri dari data geometris yang mengacu pada Gambar 2. Yaitu: D = diameter luar dari chord (=2R), d = diameter luar dari brace (=2r), T = ketebalan chord, t = ketebalan brace, L = panjang chord.

Penentuan parameter geometris tersebut harus mengacu pada rasio perbandingan geometris yang meliputi rasio di bawah ini (dimensi-dimensinya mengacu pada Gambar 2).

$$\beta = \frac{d}{D} = \text{rasio perbandingan diameter brace dan chord}$$

$$\alpha = \frac{2L}{D} = \text{rasio kelangsingan tubular utama (chord)}$$

$$\tau = \frac{t}{T} = \text{rasio perbandingan ketebalan brace ke chord}$$

$$\gamma = \frac{D}{2T} = \text{rasio diameter terhadap ketebalan chord}$$

Perbandingan geometri tersebut adalah variabel yang tidak berdimensi yang digunakan untuk persamaan parametrik yang harus memenuhi rasio perbandingan yang berlaku di bawah ini :

$$8,333 \leq \gamma \leq 33,3$$

$$0,20 \leq \tau \leq 0,8$$

$$0,3 \leq \beta \leq 0,8$$

$$6,667 \leq \alpha \leq 40$$

$$0^\circ \leq \sigma \leq 90^\circ$$

## 4.2 Model elemen hingga dengan perangkat lunak Ansys

Perhitungan *Stress Concentration Factor (SCF)* pada sambungan T menggunakan perangkat lunak *Ansys*. *Ansys* adalah salah satu perangkat lunak komputer dengan konsep metode elemen hingga yang sering digunakan untuk menyelesaikan masalah - masalah konstruksi mesin dan konstruksi struktur, terutama pada kasus-kasus yang memerlukan analisa yang harus detail dan akurat. *Ansys* dapat menganalisa tegangan dan *deformasi* dari suatu konstruksi. Berikut akan dijelaskan metode, data masukan, proses perhitungan dan data keluaran yang dihasilkan oleh program *Ansys* dalam menyelesaikan masalah konstruksi struktur khususnya studi kasus SCF sambungan T dalam makalah ini.

## 4.3 Parameter input program

Pada makalah ini, model yang digunakan menggunakan parameter – parameter *inputan* yaitu tipe elemennya *shell elastic 63* yang merupakan *elastic shell 3D* dengan derajat kebebasan (*degree of freedom*): UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ. Material yang digunakan adalah material *isotropic* dengan *modulus Young (EX) = 29000000 psi*, *poisson ratio (NUXY) = 0.32* serta *shear modulus (GXY) = 11000000 psi*.

Analisis data pada pembuatan model *Joint T* memasukkan data-data berupa parameter-parameter berikut:

1. *Data geometri model*, terdiri dari diameter *chord*, diameter *brace*, tebal *chord*, tebal *brace*, panjang *chord*, dan panjang *brace* (mengacu pada **Gambar 2**)
2. *Data mesh generation*, merupakan informasi titik nodal koordinat, jumlah titik nodal, dan titik tegangan yang ada untuk semua elemen yang akan dipakai. Dalam penelitian ini ukuran *meshing* terbagi menjadi beberapa blok area, dengan tujuan untuk membuat *meshing* yang ukurannya kecil pada daerah lasan *chord* dan *brace* sebagai acuan untuk menganalisa SCF dari tegangan *Von Misses*, sedangkan blok area yang lebih jauh dari tinjauan

pengamatan bisa dibuat ukuran *meshing* yang agak besar, hal ini bisa mengurangi lamanya waktu *running* program dengan hasil yang akurat, jika dibandingkan model tanpa pembagian area.

3. *Data Degree of freedom Constraint*. Untuk analisis *structural* menggunakan enam derajat kebebasan UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ. Dalam pembuatan model untuk *joint T*, semua tumpuannya (*constrain*) dijepit (*fixed*) pada ujung-ujung *chord*-nya sehingga menggunakan ke enam derajat kebebasan tersebut.
4. *Data gaya (force)*, yaitu gaya aksial, *momen in plane* dan *momen out plane*. Gaya aksial disimbolkan dengan **Fy**, sedangkan *momen in plane* disimbolkan dengan **mx** dan *momen out plane* disimbolkan dengan **mz**.

## 5. Analisis Hasil Perhitungan

### 5.1 Perhitungan trend eksponensial

Data yang telah memenuhi rasio perbandingan geometri kemudian digunakan untuk pembuatan model dan dianalisis dengan metode elemen hingga sehingga didapatkan tegangan *SCF* pada *chord* dan *brace* untuk tiap-tiap pembebanan, yakni: pembebanan aksial, *moment in plane* dan *moment out plane*. Selanjutnya, hasil dari data dan hasil percobaan dihitung trend eksponensial logaritmanya pada ketiga pembebanan tersebut. Perhitungan trend eksponensial dibuat untuk mengantisipasi apabila data yang dihasilkan ternyata tidak bisa linier serta ditolak uji regresi kelinierannya. Karena hal tersebut, maka pada penelitian ini digunakan metode eksponensial logaritma untuk menguji regresi kelinierannya

Di bawah ini ditampilkan tabel perhitungan eksponensial logaritma untuk *Joint T Chord* pada pembebanan aksial, *moment in plane* dan *moment out plane*.

Penjelasan perhitungan eksponensial logaritma **Tabel 1** adalah sebagai berikut :

$$Y' = a x^b \quad (\text{eksponensial})$$

$$\text{Log } Y' = \log a + b * \log x \quad (\text{regresi linier logaritma})$$

$$\text{Log } Y' = Y'_0$$

$$\text{Log } a = a_0$$

$$\text{Log } X = X_0$$

$$Y' = a_0 + b.x_0$$

Persamaan normal :

$$1. \quad a_0.n = b. \sum x_0 = \sum y_0$$

$$2. \quad a_0. \sum x_0 + b. \sum x_0^2 = \sum x_0 y_0 \quad \text{maka :}$$

$$b = \frac{n \sum X_o Y_o - \sum X_o \sum Y_o}{n \sum X_o^2 - (\sum X_o)^2} \quad (10)$$

$$a_0 = \log a = \bar{Y_o} - b \bar{X_o} \quad (11)$$

## 5.2 Perhitungan persen kesalahan

Setelah dihitung untuk semua trend eksponensial, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan untuk mengetahui seberapa besar kesalahan data geometris dan data pengujian model. Makin kecil galat (*error*) dari data yang diperoleh maka hasil analisa nanti semakin tinggi pula keakuratannya. Perhitungan persen kesalahan ini didasarkan pada metode jumlah kesalahan kuadrat (J. Suprananto, 1987). Perhitungan persen kesalahan inipun dibuat untuk *sambungan T* pada pembebanan aksial, *moment in plane* dan *moment out plane*. Di bawah ini ditunjukkan tabel perhitungan persen kesalahan *sambungan T* pada *chord* untuk beban aksial.

**Tabel 1. Perhitungan trend eksponensial untuk Joint T pada gaya aksial**

No.	$X_o = \log \frac{2L}{d}$	$y_o = \log y$	$X_o^2$	$X_o \cdot Y_o$
1.	1.3979400	-0.273267	1.95423627	-0.382010535
2.	1.5228787	0.280059	2.31915967	0.426495815
3.	1.3010300	0.152916	1.69267905	0.198948364
4.	1.1549020	0.032394	1.33379854	0.037412102
5.	1.0457575	0.082509	1.09360873	0.086284876
6.	0.8538720	-0.210974	0.72909733	-0.180144741
7.	0.9393022	-0.139422	0.88228855	-0.130959801
8.	0.8386320	-0.237186	0.70330363	-0.198912181
9.	1.3467875	0.125785	1.81383653	0.169405782
10.	1.3010300	0.117707	1.69267905	0.153140905
11.	1.1249387	0.047088	1.26548716	0.052971132
12.	1.0705811	-0.059581	1.14614384	-0.063786079
13.	1.0457575	-0.107396	1.09360873	-0.112310137
14.	1.0222764	-0.038493	1.04504903	-0.039350726
15.	0.9788107	-0.133779	0.95807039	-0.130944326
16.	0.9030900	-0.222176	0.81557152	-0.200644530
17.	0.8696662	-0.201159	0.75631935	-0.174941154
18.	1.4559320	0.127445	2.11973786	0.185551155
19.	1.3979400	0.114522	1.95423627	0.160095345
$\Sigma =$	21.5711244	-0.5430068	25.36891149	-0.143698735

$$b = \frac{n \sum X_o Y_o - \sum X_o \sum Y_o}{n \sum X_o^2 - (\sum X_o)^2} = 0.538035344$$

$$a_0 = \log a = \bar{Y_o} - b \bar{X_o} = -0.639422846$$

**Tabel 2** menunjukkan bahwa persen kesalahan yang ditemukan adalah 0.22%. Selain itu, **Gambar 4** menunjukkan bahwa data-data berada dekat dengan *trend line*. Maka, data bisa dianggap cukup bagus untuk dijadikan acuan dalam pengolahan data selanjutnya.

## 6. Pengembangan Persamaan Empiris SCF baru

### 6.1 Penentuan persamaan empiris SCF dengan metode skala logaritma

Apabila diasumsikan bahwa variasi dari SCF dengan parameter geometrik dalam bentuk pangkat dari masing-masing parameter tersebut, maka plot dari SCF dengan parameter tertentu dalam skala logaritma akan dapat digunakan dalam menghasilkan persamaan empiris.

Berikut adalah contoh pola pembuatan rumus empiris dengan skala logaritma untuk Sambungan T. Pada penelitian ini rumus empiris yang menjadi acuan pembuatan rumus empiris untuk Sambungan T adalah rumus empiris dari J.G. Kuang.

Langkah – langkah membuat persamaan rumus empiris dengan skala logaritma adalah sebagai berikut:

Langkah–langkah membuat persamaan rumus empiris dengan skala logaritma adalah sebagai berikut:

a. Plotkan log SCF yang didapat dari penelitian yang menggunakan *software Ansys* terhadap  $\log(D/27)$ , dari regresi linier didapatkan kemiringan m1.

b. Plotkan  $\log \frac{SCF}{(\frac{D}{2T})^{m1}}$  terhadap  $\log (\frac{t}{T})$ ,

dari regresi linier didapatkan kemiringan m2

c. Plotkan  $\log \frac{SCF}{((\frac{D}{2T})^{m1} \cdot (\frac{t}{T})^{m2} \cdot (\frac{2L}{D})^{m3})}$  terhadap  $\log \frac{d}{D}$ ,

dari regresi linier didapatkan kemiringan m3.

d. Plotkan  $\log \frac{SCF}{((\frac{D}{2T})^{m1} \cdot (\frac{t}{T})^{m2})}$  terhadap  $\log (\frac{2L}{D})$ ,

e. Dapatkan  $((\frac{D}{2T})^{m1} \cdot (\frac{t}{T})^{m2})$  harga  $a_0$

dari regresi linier didapatkan kemiringan m4.

dari perhitungan trend eksponensial yang terdapat pada **Tabel 1**,  $a_0$  tersebut diperoleh dari hubungan  $a_0 + x.m4 = y$ . dengan

$$x = \log \frac{2L}{D} \text{ dan } y = \log \frac{SCF_{ansys}}{(\frac{D}{2T})^{m1} \cdot (\frac{t}{T})^{m2} \cdot (\frac{2L}{D})^{m3}}$$

Tabel 2. Perhitungan persen kesalahan untuk Joint T pada gaya aksial

No.	Hasil Observasi (y)	$y_0 = \text{Log } y$	$x_0 = \text{Log } \frac{2L}{d}$	Hasil trend $\hat{Y}_i = a_0 + b x_0$	Selisih (ei)	$(ei)^2$
1.	0.533007403	-0.273266759	1.3979400	0.112718287	-0.385985	0.148984455
2.	1.905719356	0.280058945	1.5228787	0.179939743	0.100119	0.010023855
3.	1.422053865	0.152916047	1.3010300	0.060577275	0.092339	0.008526449
4.	1.077442692	0.03239418	1.1549020	-0.01804477	0.050439	0.002544088
5.	1.209231495	0.08250945	1.0457575	-0.07676836	0.159278	0.025369419
6.	0.615213774	-0.21097395	0.8538720	-0.18000955	-0.030964	0.000958794
7.	0.72540001	-0.139422443	0.9393022	-0.13404509	-0.005377	2.8916E-05
8.	0.579179937	-0.237186491	0.8386320	-0.18820919	-0.048977	0.002398776
9.	1.33593426	0.125785087	1.3467875	0.085196422	0.040589	0.00164744
10.	1.311316228	0.117707436	1.3010300	0.060577275	0.057130	0.003263855
11.	1.114520382	0.047088015	1.1249387	-0.03416605	0.081254	0.006602222
12.	0.871804685	-0.059580802	1.0705811	-0.06341239	0.003832	1.46811E-05
13.	0.780915482	-0.107395967	1.0457575	-0.07676836	-0.030628	0.000938051
14.	0.915180514	-0.038493236	1.0222764	-0.08940201	0.050909	0.002591704
15.	0.73488772	-0.133779009	0.9788107	-0.11278809	-0.020991	0.000440619
16.	0.599548655	-0.222175567	0.9030900	-0.15352851	-0.068647	0.004712418
17.	0.629275815	-0.201158959	0.8696662	-0.17151168	-0.029647	0.000878961
18.	1.341049894	0.127444936	1.4559320	0.143920004	-0.016475	0.000271428
19.	1.30173424	0.114522328	1.3979400	0.112718287	0.001804	3.25457E-06
				Jumlah kesalahan kuadrat =		0.220199385
		Persen	jumlah	kesalahan	kuadrat =	0.002201994 %

f. Sehingga persamaan empiris SCF yang baru untuk Joint T :

$$SCF = \left(\frac{D}{2T}\right)^{m_1} \cdot \left(\frac{t}{T}\right)^{m_2} \cdot \left(\frac{2L}{D}\right)^{m_3} \cdot 10^{(a_0 + x \cdot m_4)}$$

## 6.2. Persamaan empiris SCF untuk sambungan T

Di bawah ini akan dipaparkan proses pembuatan rumus empiris Sambungan T pada daerah *chord*, yang ditinjau untuk setiap pembebanan aksial, momen *in-plane* dan momen *out-plane*.

### 6.2.1 Pengembangan persamaan empiris SCF Joint T pada *chord* akibat beban aksial

- Langkah a ditunjukkan dalam **Gambar 5**. Dari hasil plot tersebut didapat kemiringan  $m_1 = 0.8185$
- Langkah b ditunjukkan dalam **Gambar 6**. Dari hasil plot tersebut didapat kemiringan  $m_2 = 1.016$
- Langkah c ditunjukkan dalam **Gambar 7**. Dari hasil plot tersebut didapat kemiringan  $m_3 = -0.1045$

4. Langkah d ditunjukkan dalam **Gambar 8**. Dari hasil plot tersebut didapat kemiringan  $m_4 = 0.538$

5. Pada langkah e, sesuai hubungan  $a_0 + x \cdot m_4 = y$ ,  $a_0$  dari perhitungan trend eksponensial yang terdapat pada **Tabel 1**, maka diperoleh harga:  $a_0 = -0.639422846$

6. Sehingga persamaan empiris SCF joint T pada *chord* adalah :

$$SCF_{CHORD} = \gamma^{0.8185} \cdot \tau^{1.016} \cdot \beta^{(-0.1045)} \cdot 10^{(-0.6394 + 0.538 \cdot \alpha)} \quad (12)$$

Dengan cara yg sama, didapat persamaan empiris SCF untuk sambungan T pada *chord* akibat beban, *moment in-plane* dan *moment out-plane* sebagai berikut:

- Akibat beban moment *in-plane*:

$$SCF_{cord} = \gamma^{0.7654} \cdot \tau^{0.2315} \cdot \beta^{(-2.2405)} \cdot 10^{(-0.7126 + 0.083 \alpha)} \quad (13)$$

- Akibat beban moment *out-plane* :

$$SCF_{cord} = \gamma^{1.179} \cdot \tau^{0.532} \cdot \beta^{(-1.834)} \cdot 10^{(-1.645 + 0.21 \alpha)} \quad (14)$$

Hasil analisis  $SCF_{\text{chord}}$  join-T akibat penerapan beban aksial selanjutnya dapat dilihat pada **Gambar 9**.

Pada **Gambar 10**, terlihat bahwa hasil analisis  $SCF_{\text{chord}}$  menggunakan formula baru memiliki nilai yang relative cukup dekat terhadap hasil analisis menggunakan formula Kuang.

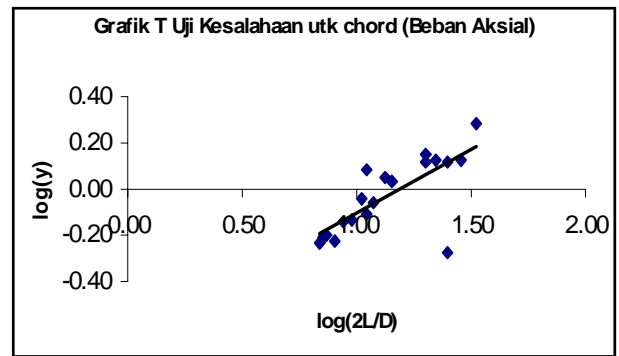
Perbandingan antara nilai  $SCF_{\text{chord}}$  join-T yang diperoleh dari formula baru yang dikembangkan di atas terhadap hasil analisis  $SCF_{\text{chord}}$  yang menggunakan formula Kuang, dapat dilihat dalam **Gambar 10**, di bawah.

## 7. Kesimpulan

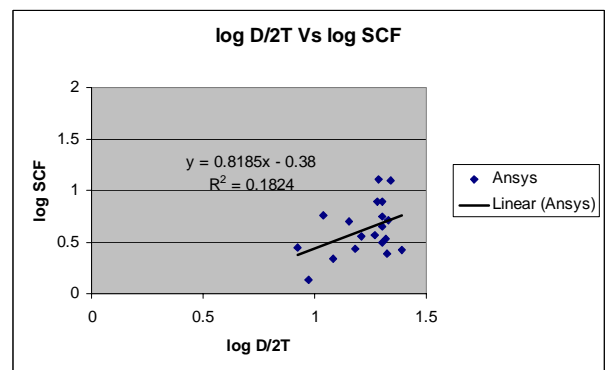
Pengembangan persamaan empiris SCF baru bisa dilakukan dengan memanfaatkan hasil perhitungan Metoda Elemen Hingga untuk tegangan hotspot pada sambungan T akibat beban aksial, moment in-plane, dan moment out-plane. Untuk kesempurnaan penelitian ini, disarankan untuk dilanjutkan dengan pembuatan model fisik di laboratorium. Disarankan pula adanya penelitian lebih lanjut untuk rumus SCF pada *Joint* sederhana lainnya yaitu *Joint Y*, *Joint X*, *joint K* dan lain sebagainya, serta penelitian lebih lanjut untuk rumus SCF pada *Joint* yang lebih kompleks permasalahan misalnya pada multiple *Joint* dan overlapped *Joint*.

## Daftar Pustaka

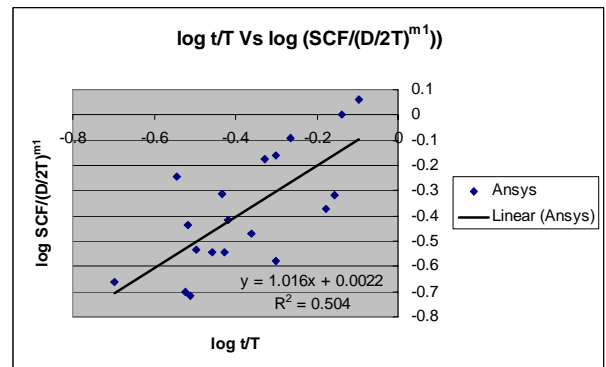
- American Petroleum Institute, 2000, “*Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – Working Stress Design*”.
- Buch, A., 1988, “*Fatigue Strength Calculation*”, Trans Tech Publications
- Fuchs, H.O., Stephens, R.I., 1980, “*Metal Fatigue In Engineering*”, John Wiley & sons, Inc
- Miller, K.J., de los Rios, E.R., 1986, “*The Behaviour of Short fatigue Cracks*”, Mechanical Engineering Publication Limited.



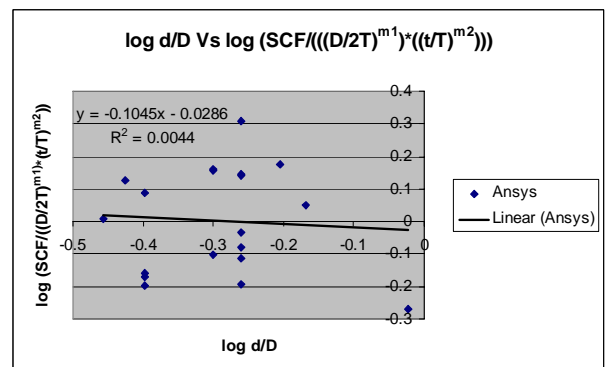
**Gambar 4.** Hubungan pada perhitungan kesalahan untuk Joint T pada gaya aksial



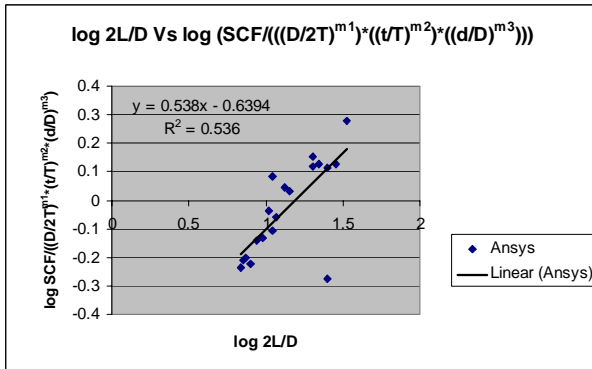
**Gambar 5.** Plot langkah a



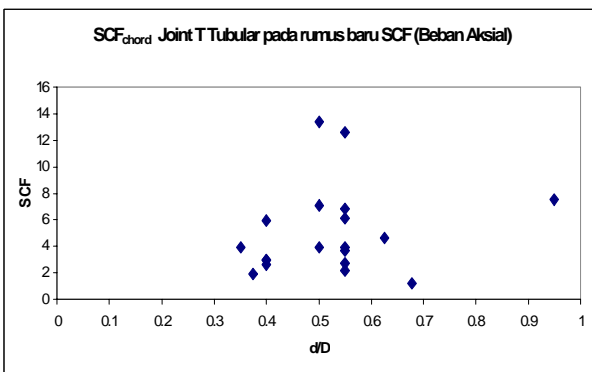
**Gambar 6.** Plot langkah b



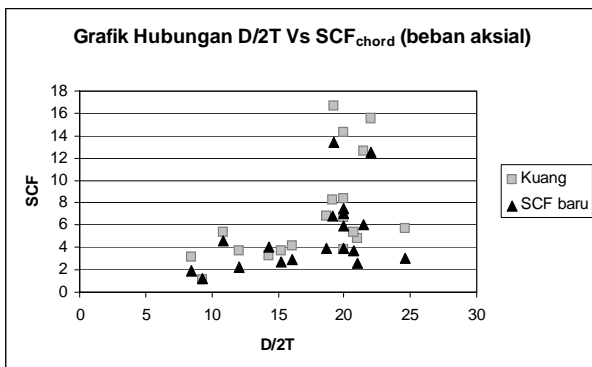
**Gambar 7.** Plot langkah c



Gambar 8. Plot langkah d



Gambar 9. Hasil analisis SCF<sub>chord</sub> Joint T akibat beban aksial dari formula baru yang dikembangkan



Gambar 10. Perbandingan SCF<sub>chord</sub> Sambungan T dari formula baru yang dikembangkan terhadap formula J.G. Kuang