Gerry Resmi Liyana, S.Si

SOLUTIONS TO SELECTED PROBLEMS

CHAPTER 9

Mechanical Behavior of Materials, 4th Edition

SECTION 9.7

9.1 Verify each item of Eq. 9.4, starting from Eqs. 9.1 to 9.3 or preceding items of Eq 9.4.

Jawab:

Tegangan amplitudo dan tegangan rata-rata didefinisikan dalam persamaan (9.1.1) dan (9.1.2) di bawah ini:

$$\sigma_a = \frac{\Delta\sigma}{2} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (9.1.1)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (9.1.2)$$

Sedangkan rasio antara tegangan amplitudo dengan tegangan rata-rata (A) dan rasio antara tegangan minimum dengan tegangan maksimum (R) didefinisikan dalam persamaan (9.1.3) dan persamaan (9.1.4) di bawah ini:

$$A = \frac{\sigma_a}{\sigma_m} \quad (9.1.3)$$

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \quad (9.1.4)$$

Apabila σ_{min} disubstitusikan pada persamaan (9.1.2) disubstitusikan ke persamaan (9.1.1) akan diperoleh persamaan:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

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

$$2\sigma_a = 2\sigma_{max} - 2\sigma_m$$

$$\sigma_{max} = \sigma_m + \sigma_a \quad (9.1.5)$$

Apabila σ_{max} disubstitusikan pada persamaan (9.1.2) disubstitusikan ke persamaan (9.1.1) akan diperoleh persamaan:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

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

$$2\sigma_a = 2\sigma_m - 2\sigma_{min}$$

$$\sigma_{min} = \sigma_m - \sigma_a \qquad (9.1.6)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (9.1.3), (9.1.5) dan (9.1.6) ke persamaan (9.14) Maka, rasio R dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$$

$$R = \frac{\sigma_m - \sigma_a}{\sigma_m + \sigma_a}$$

$$R = \frac{\sigma_m \left(1 - \frac{\sigma_a}{\sigma_m}\right)}{\sigma_m \left(1 + \frac{\sigma_a}{\sigma_m}\right)}$$

$$R = \frac{1 - A}{1 + A} \qquad (9.1.6)$$

dan rasio A dapat dinyatakan dengan menyusun ulang persamaan (9.1.6) menjadi:

$$R(1 + A) = 1 - A$$

$$R + RA = 1 - A$$

$$A = \frac{1 - R}{1 + R} \qquad (9.1.7)$$

***9.3* For an S-N curve of the form of Eq. 9.5, two points (N_1, σ_1) and (N_2, σ_2) are known.**

a) Develop equations for the constants C and D as a function of these values.

b) Apply your results from (a) to the data in Fig. 9.5 for $N_f < 10^6$ cycles, evaluating C and D to obtain an equation that gives a reasonable representations of these data.

<u>Jawab:</u>

a) Persamaan untuk mencari konstanta C dan D dari untuk dua titik (N_1, σ_1) dan (N_1, σ_1) ditulis dalam bentuk:

$$\sigma_1 = C + D \log N_1 \qquad (9.3a.1)$$

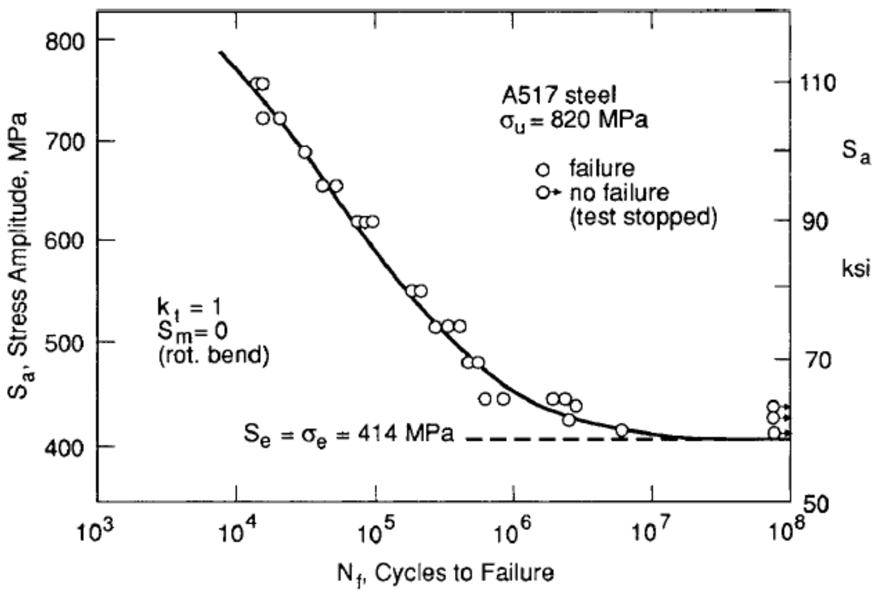
$$\sigma_2 = C + D \log N_2 \qquad (9.3a.2)$$

Apabila persamaan (9.3a.1) dikurangi dengan persamaan (9.3a.2), kita bisa menghilangkan variabel C dan persamaan di atas dapat ditulis kembali dalam bentuk:

$$\begin{aligned} \sigma_1 - \sigma_2 &= D(\log N_1 - \log N_2) \\ D &= \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\log N_1 - \log N_2} \end{aligned} \tag{9.3a.3}$$

Setelah konstanta D berhasil didapat dengan menggunakan persamaan (9.3a.3), kita dapat mencari konstanta C dengan mensubstitusikan persamaan (9.3a.3) ke persamaan (9.3a.1) atau (9.3a.2).

b) Menggunakan persamaan (9.3a.3) untuk mencari konstanta C dan D untuk dari grafik pada gambar 9.5 sebagai berikut:



Gambar 9.5 diambil dari buku Norman E Dowling

Dari gambar 9.5 di atas, sebanyak 10 data diekstrak dari grafik S_a versus N_f dengan menggunakan **Plot Digitizer** dan dirangkum pada tabel di bawah ini

No	N_f, Cycles to Failure	σ_a, Stress Amplitudo (MPa)
1	15877.7	719.728
2	15908.7	753.741
3	21383.6	722.449
4	31493.5	688.435
5	42328.7	655.782
6	53215.5	655.782
7	74868.4	621.769
8	83933	619.048
9	100806.7	620.408
10	182059.9	551.02

Misalkan kita ambil dua data berturut-turut data ke-4 dan ke-8 yang masih berada dalam daerah kurva yang linear. Selanjutnya kita hitung konstanta D sebagai berikut:

$$D = \frac{\sigma_4 - \sigma_8}{\log N_4 - \log N_8}$$

$$D = \frac{688.435 \text{ MPa} - 619.048 \text{ MPa}}{\log 31493.5 - \log 83933}$$

$$D = \frac{69.387 \text{ MPa}}{-0.43}$$

$$D \approx -159 \text{ MPa}$$

Setelah mendapatkan konstanta D, kita bisa menghitung konstanta C sebagai berikut

$$\sigma_4 = C + D \log N_4$$

$$C = \sigma_4 - D \log N_4$$

$$C = 688.435 \text{ MPa} - (-159 \text{ MPa}) \log 31493.5$$

$$C \approx 1402.345 \text{ MPa}$$

9.4 The steel 50CrMo4 can be assumed to have an S-N curve of the form of Eq. 9.6. Some fatigue test data for unnotched specimens under axial stress, with zero mean stress, are given in Table P9.4

a) Plot these data on log–log coordinates, and determine approximate values for the constants A and B

b) Obtain refined values for A and B, using a linear least-square fit to $\log(N_f)$ vs $\log(\sigma_a)$. Then calculate σ'_f and b for e.q 9.7

Tabel P9.4

No	σ_a (MPa)	N_f cycles
1	**675**	14000
2	**578**	55000
3	**600**	58000
4	**559**	61000
5	**563**	165000
6	**540**	270000

Jawab:

a) Untuk mendapatkan konstanta A dan B secara kasar, diambil dua data yang menunjukkan kurva linear ketika di-*plot* dalam skala logaritma, yaitu untuk data pertama (σ_1, N_1) dan data terakhir (σ_6, N_6), gunakan persamaan $\sigma_a = AN_f^B$ untuk keduanya sebagai berikut:

$$\sigma_1 = AN_1^B \qquad (9.4a.1)$$

$$\sigma_6 = AN_6^B \qquad (9.4a.2)$$

Setelah itu, bagi persamaan (9.4a.1) dengan persamaan (9.4a.2) menjadi persamaan (9.4a.3), dan jadikan logaritma untuk kedua ruas persamaan tersebut menjadi persamaan (9.4a.4) seperti di bawah ini:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_6} = \frac{AN_1^B}{AN_6^B} \qquad (9.4a.3)$$

$$\log\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_6}\right) = B\log\left(\frac{N_1}{N_6}\right) \qquad (9.4a.4)$$

Dengan demikian, nilai B adalah :

$$B = \frac{\log\sigma_1 - \log\sigma_6}{\log N_1 - \log N_6}$$

$$B = \frac{\log(675\text{ MPa}) - \log(540\text{ MPa})}{\log 14000 - \log 270000}$$

$$B = \frac{2.83 - 2.73}{4.15 - 5.43}$$

$$B = -0.078125$$

Ketika B diketahui, maka A dapat dihitung. Nilai A adalah:

$$A = \frac{\sigma_1}{N_1^B}$$

$$A = \frac{675 \text{ MPa}}{(14000)^{-0.078125}}$$

$$A = 1423.05 \text{ MPa}$$

b) Mencari konstanta A dan B dengan menggunakan metode *linear least-square fit*. Karena tegangan sengaja dipilih untuk setiap tes, maka σ_a merupakan variabel bebas, dan N_f sebagai variabel terikat. Maka kita tulis persamaannya menjadi:

$$N_f = \left(\frac{\sigma_a}{A}\right)^{1/B} \quad (9.4b.1)$$

$$\log N_f = \frac{1}{B}\log \sigma_a - \frac{1}{B}\log A \quad (9.4b.2)$$

$$\downarrow \qquad \downarrow \quad \downarrow \qquad \downarrow$$

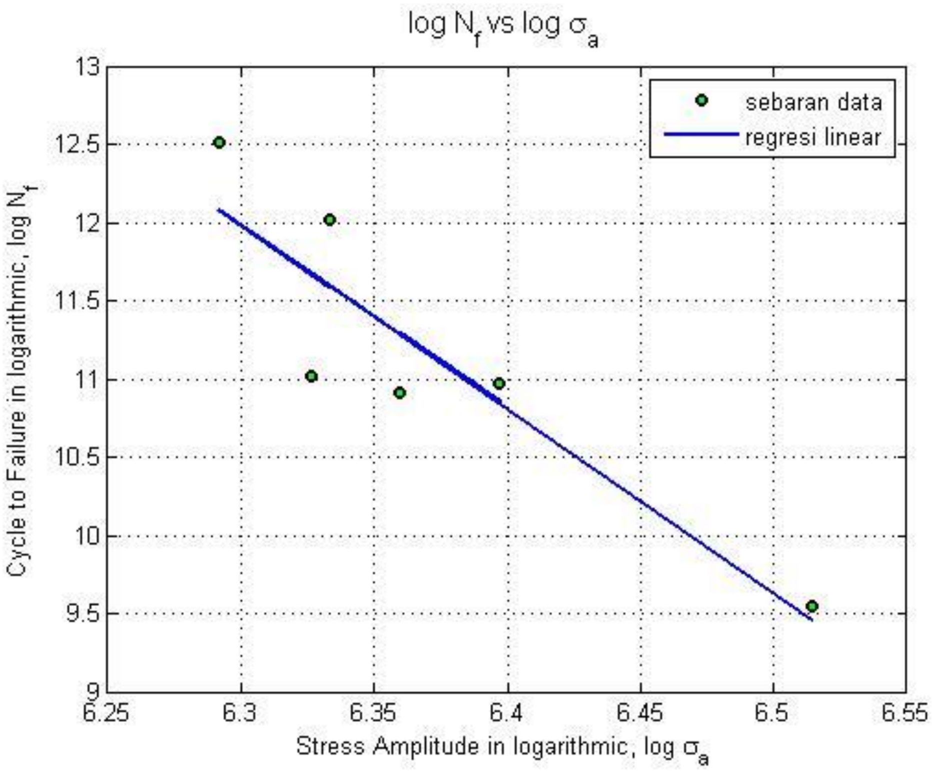
$$y = m \quad x \quad + \quad c$$

di mana persamaan di atas bersesuaian dengan pers. garis lurus $y = mx + c$ dengan $y = \log N_f$, $c = -(1/B)\log A$, $x = \log \sigma_a$, dan untuk kemiringan garis $m = 1/B$. Untuk mendapatkan kemiringan m dan konstanta c berturut-turut kita gunakan persamaan (9.4b.3) dan (9.4b.4) di bawah ini :

$$m = \frac{N\sum xy - \sum x \sum y}{N\sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (9.4b.3)$$

$$c = \frac{\sum y - m\sum x}{N} \quad (4b.4)$$

Dengan menggunalan program Matlab versi 7.6.0 R2008a, grafik regresi linear dengan nilai m dan c diperoleh sebagai berikut:



di mana:

$$\textbf{konstanta } c = 37.37492$$

$$\textbf{kemiringan garis } m = -11.75717$$

Jika kita sudah mendapatkan kemiringan garisnya, konstanta B dapat dicari dari kemiringan garis sedangkan konstanta A dapat dicari dari konstanta c. Mengacu pada persamaan (9.4b.2), konstanta B dan konstanta A dapat dicari berturut-turut menggunakan persamaan (9.4b.5) dan (9.4b.6) di bawah ini:

$$B = \frac{1}{m} \tag{9.4b.3}$$

$$B = \frac{1}{-11.75717}$$

$$B \approx -0.08505449$$

Setelah mendapatkan konstanta B, kita dapat menghitung konstanta A sebagai berikut

$$A = 10^{-cB} \tag{9.4b.4}$$

$$A = 10^{-37.37492 \times (-0.08505449)}$$
$$A \approx 1509.75 \text{ MPa}$$

Sehingga:

$$b = B = -0.08505449$$

dan

$$\sigma_f' = \frac{A}{2^b} = \frac{1509.75 \text{ MPa}}{2^{-0.08505449}} \approx 1601.43 \text{ MPa}$$

9.5 Proceed as in Prob. 9.4, but use the data in Table P9.5 for unnotched, axially loaded specimens of 2024-T3 aluminum tested under zero mean stress.

Tabel P9.5

No	σ_a (MPa)	N_f cycles
1	**331**	43000
2	**276**	112000
3	**241**	172000
4	**207**	231000
5	**190**	546000
6	**179**	1165000

Jawab:

a) Seperti pada soal 9.4a, perhitungan B secara kasar dapat dihitung dengan mengambil sedikitnya dua data yang menunjukkan kurva linear ketika di-*plot* dalam skala logaritma (data ke-2 dan data ke-5) dengan persamaan di bawah ini :

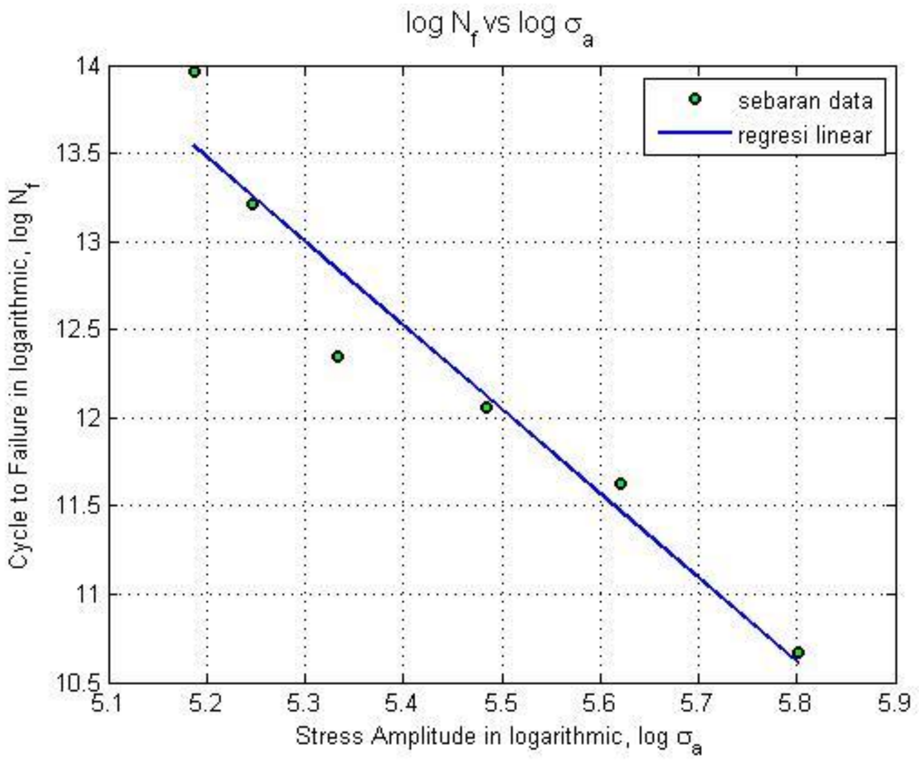
$$B = \frac{\log \sigma_1 - \log \sigma_5}{\log N_1 - \log N_5}$$
$$B = \frac{\log(331 \text{ MPa}) - \log(190 \text{ MPa})}{\log 43000 - \log 546000}$$
$$B = \frac{2.52 - 2.28}{4.63 - 5.74} \approx -0.21622$$

Ketika B diketahui, maka A dapat dihitung. Nilai A adalah:

$$A = \frac{\sigma_1}{N_1^B} = \frac{331 \text{ MPa}}{(43000)^{-0.21622}}$$

$$A \approx 3324{,}12 \text{ MPa}$$

b) Selanjutnya mencari konstanta A dan B dengan menggunakan metode *linear least-square fit.* Dengan langkah-langkah yang sama seperti pada jawaban soal 9.4b, grafik regresi linear dengan nilai m dan c diperoleh sebagai berikut:



di mana:

$$\textbf{konstanta } \boldsymbol{c} = 16.62714$$

$$\textbf{kemiringan garis } \boldsymbol{m} = -4.769268$$

Jika kita sudah mendapatkan kemiringan garisnya, konstanta B dapat dicari dari kemiringan garis sedangkan konstanta A dapat dicari dari konstanta c. Dengan langkah-langkah yang sama seperti pada jawaban soal 9.4b, nilai konstanta A dan B adalah sebagai berikut:

$$B = \frac{1}{m}$$

$$B = \frac{1}{-4.769268}$$

$$B \approx -0.2096758$$

$$A = 10^{-cB}$$
$$A = 10^{-16.62714 \times (-0.2096758)}$$
$$A \approx 3064.139 \text{ MPa}$$

Sehingga:

$$b = B = -0.2096758$$

dan

$$\sigma_f' = \frac{A}{2^b} = \frac{3064.139 \text{ MPa}}{2^{-0.2096758}} = 3543.5 \text{ MPa}$$

9.6 Proceed as in Prob. 9.4, but use the data in Table P9.6 for unnotched, axially loaded specimens of 50CrMo4 tested under zero mean stress.

Tabel P.96

No	σ_a (MPa)	N_f cycles
1	**537**	38000
2	**475**	45000
3	**463**	47000
4	**447**	140000
5	**450**	185000
6	**438**	190000

Jawab:

a) Seperti pada soal 9.4a, perhitungan B secara kasar dapat dihitung dengan mengambil sedikitnya dua data yang menunjukkan kurva linear ketika di-*plot* dalam skala logaritma (data ke-1 dan data ke-4) dengan persamaan di bawah ini :

$$B = \frac{\log \sigma_1 - \log \sigma_4}{\log N_1 - \log N_4}$$

$$B = \frac{\log(537 \text{ MPa}) - \log(447 \text{ MPa})}{\log 38000 - \log 140000}$$

$$B \approx \frac{2.73 - 2.65}{4.58 - 5.15}$$

$$B \approx -0.140351$$

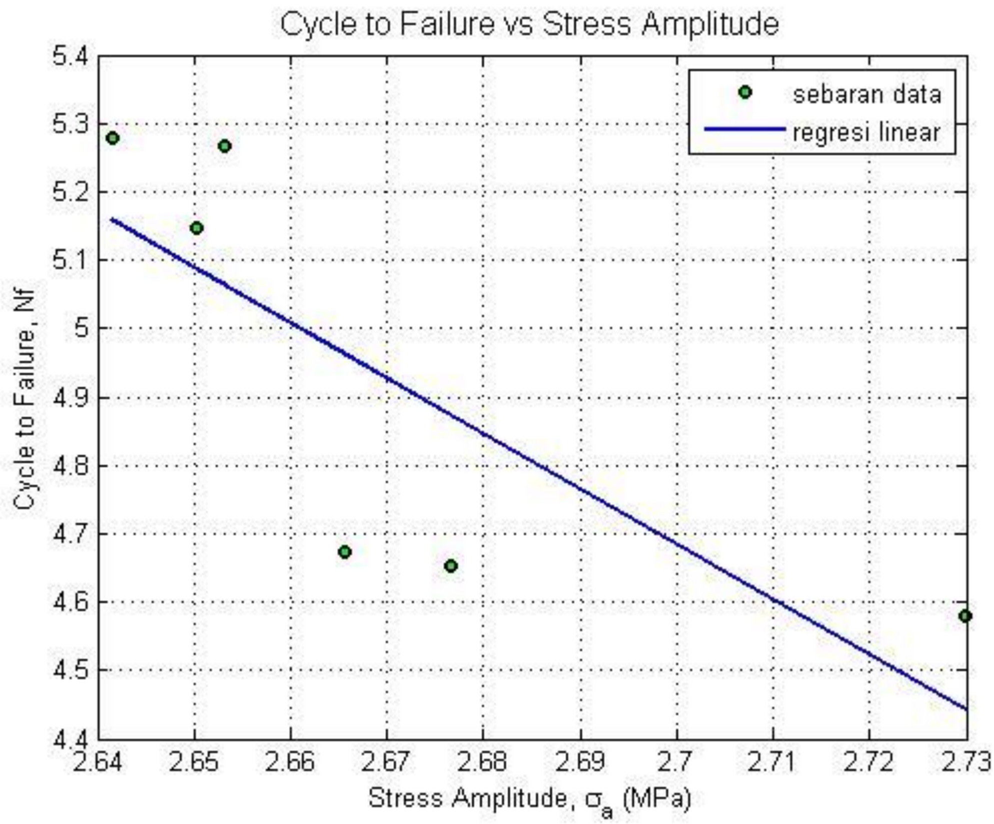
Ketika B diketahui, maka A dapat dihitung. Nilai A adalah:

$$A = \frac{\sigma_1}{N_1^B}$$

$$A = \frac{537 \text{ MPa}}{(38000)^{-0.140351}}$$

$$A \approx 2359.128 \text{ MPa}$$

b) Selanjutnya mencari konstanta A dan B dengan menggunakan metode *linear least-square fit.* Dengan langkah-langkah yang sama seperti pada jawaban soal 9.4b, grafik regresi linear dengan nilai m dan c diperoleh sebagai berikut:



di mana:

$$\textbf{konstanta } c = 26.51104$$

$$\textbf{kemiringan garis } m = -8.083107$$

Jika kita sudah mendapatkan kemiringan garisnya, konstanta B dapat dicari dari kemiringan garis sedangkan konstanta A dapat dicari dari konstanta c. Dengan langkah-langkah yang sama seperti pada jawaban soal 9.4b, nilai konstanta A dan B adalah sebagai berikut:

$$B = \frac{1}{m}$$

$$B = \frac{1}{-8.083107}$$

$$B \approx -0.1237148$$

$$A = 10^{-cB}$$
$$A = 10^{-26.51104\times(-0.1237148)}$$
$$A \approx 1904.619 \text{ MPa}$$

Sehingga:

$$b = B = -0.1237148$$

dan

$$\sigma_f' = \frac{A}{2^b} = \frac{3064.139}{2^{-0.2096758}} = 2075.2 \text{ MPa}$$

9.7 Proceed as in Prob. 9.4, but use the data in Table P9.7 for unnotched, axially loaded specimens of 50CrMo4 tested under zero mean stress.

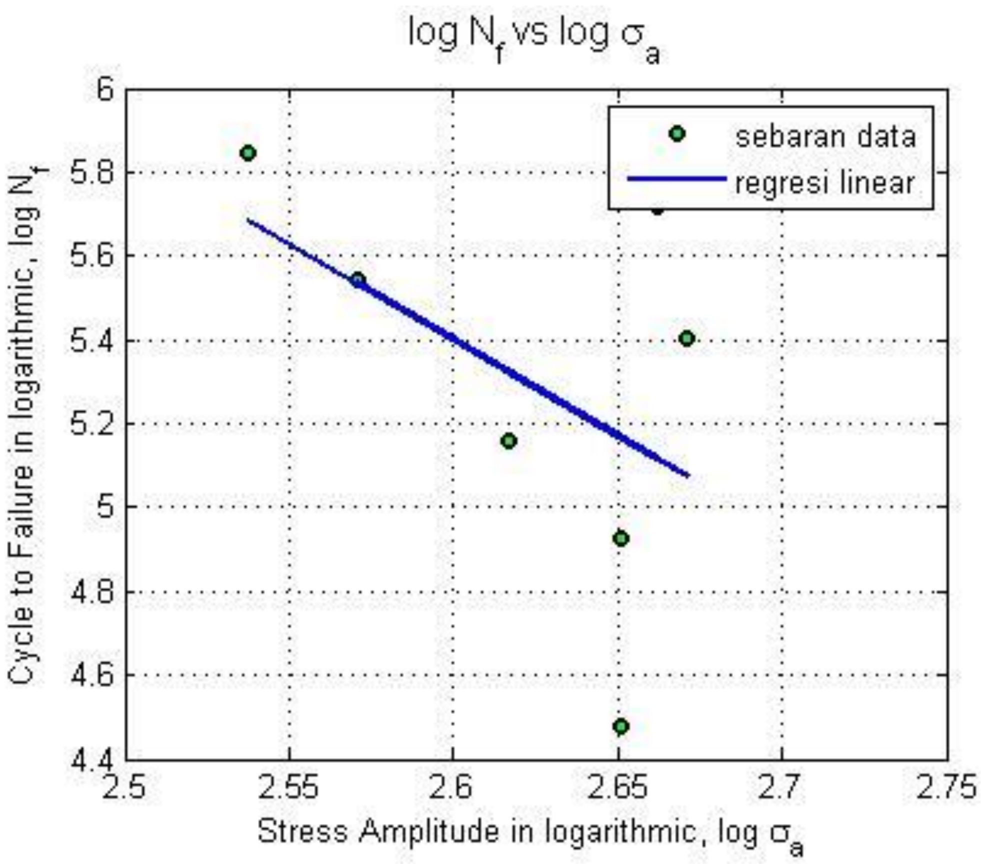
Tabel P9.7

No	σ_a (MPa)	N_f cycles
1	**448**	30000
2	**448**	85000
3	**414**	144000
4	**469**	252000
5	**372**	351000
6	**459**	520000
7	**345**	701000

Jawab:

a) Seperti pada soal 9.4a, perhitungan B secara kasar dapat dihitung dengan mengambil sedikitnya dua data yang menunjukkan kurva linear ketika di-*plot* dalam skala logaritma. Namun, untuk data yang ditunjukkan pada tabel P9.7, sebaran datanya sangat tidak linear. Oleh karena itu, perhitungan B secara kasar menurut saya akan sulit untuk dilakukan.

b) Selanjutnya mencari konstanta A dan B dengan menggunakan metode *linear least-square fit.* Dengan langkah-langkah yang sama seperti pada jawaban soal 9.4b, grafik regresi linear dengan nilai m dan c diperoleh sebagai berikut:



di mana:

$$\textbf{konstanta } c = 26.51104$$

$$\textbf{kemiringan garis } m = -8.083107$$

Jika kita sudah mendapatkan kemiringan garisnya, konstanta B dapat dicari dari kemiringan garis sedangkan konstanta A dapat dicari dari konstanta c. Dengan langkah-langkah yang sama seperti pada jawaban soal 9.4b, nilai konstanta A dan B adalah sebagai berikut:

$$B = \frac{1}{m}$$

$$B = \frac{1}{-4.603864}$$

$$B \approx -0.2172089$$

$$A = 10^{-cB}$$
$$A = 10^{-17.37206\times(-0.2172089)}$$
$$A \approx 5934.248 \text{ MPa}$$

Sehingga:

$$b = B = -0.2172089$$

dan

$$\sigma_f' = \frac{A}{2^b} = \frac{5934.248 \text{ MPa}}{2^{-0.2172089}} = 6898.5 \text{ MPa}$$

9.8 Proceed as in Prob. 9.4, but use the data in Table P9.8 for unnotched, axially loaded specimens of 6A1-4V Titanium tested under zero mean stress.

Jawab

Tabel P9.8

No	σ_a (MPa)	N_f cycles
1	**293**	45000
2	**241**	90000
3	**207**	160000
4	**174**	700000
5	**152**	1200000

a) Seperti pada soal 9.4a, perhitungan B secara kasar dapat dihitung dengan mengambil sedikitnya dua data yang menunjukkan kurva linear ketika di-*plot* dalam skala logaritma (data pertama dan data terakhir) dengan persamaan di bawah ini :

$$B = \frac{\log \sigma_1 - \log \sigma_5}{\log N_1 - \log N_5}$$

$$B = \frac{\log(293\text{ MPa}) - \log(152\text{ MPa})}{\log 45000 - \log 1200000}$$

$$B \approx \frac{2.47 - 2.18}{4.65 - 6.08} \approx -0.20279$$

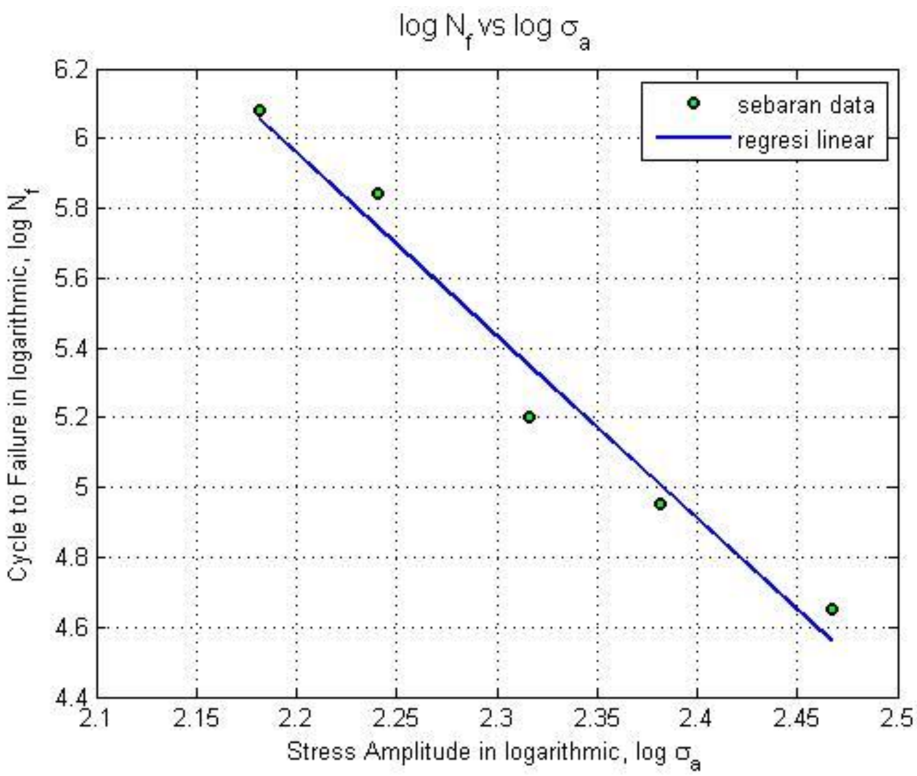
Ketika B diketahui, maka A dapat dihitung. Nilai A adalah:

$$A = \frac{\sigma_1}{N_1^B}$$

$$A = \frac{293\text{ MPa}}{(45000)^{-0.20279}}$$

$$A \approx 2573.312\text{ MPa}$$

b) Selanjutnya mencari konstanta A dan B dengan menggunakan metode *linear least-square fit*. Dengan langkah-langkah yang sama seperti pada jawaban soal 9.4b, grafik regresi linear dengan nilai m dan c diperoleh sebagai berikut:



di mana:

$$\textbf{konstanta } \boldsymbol{c} = 17.50041$$

$$\textbf{kemiringan garis } \boldsymbol{m} = -5.244229$$

Jika kita sudah mendapatkan kemiringan garisnya, konstanta B dapat dicari dari kemiringan garis sedangkan konstanta A dapat dicari dari konstanta c. Dengan langkah-langkah yang sama seperti pada jawaban soal 9.4b, nilai konstanta A dan B adalah sebagai berikut:

$$B = \frac{1}{m}$$

$$B = \frac{1}{-5.244229}$$

$$B \approx -0.1906858$$

$$A = 10^{-cB}$$
$$A = 10^{-17.50041\times(-0.1906858)}$$
$$A \approx 2173.097 \text{ MPa}$$

Sehingga:

$$b = B = -0.1906858$$

dan

$$\sigma_f' = \frac{A}{2^b} = \frac{2173.097 \text{ MPa}}{2^{-0.1906858}} = 2480.2 \text{ MPa}$$

9.9 For the SAE 1015 steel in Table 9.1, a life of 1.94×10^5 cycles to failure is calculated for the stress amplitude of $\sigma_a = 500$ MPa that is expected to occur in service. To assure that no failures occur, the suggestion is made that parts of this type should be replaced when the number of cycles applied reaches 1/3 of this life.

a) What are the safety factors in life and in stress corresponding to this suggestion?

b) Is the suggestion a good one? Briefly explain the logic of your answer.

<u>Jawab</u>

Berdasarkan soal di atas dan tabel 9.1 di buku Norman E. Dowling, untuk SAE 1015 *steel* diketahui:

***Life* untuk $\sigma_a = 500$ MPa**	N_f	=	1.94×10^5
***Life* yang disarankan**	N_f'	=	$\frac{1}{3}N_f = \frac{1}{3}1.94 \times 10^5 = 0.65 \times 10^5$
Amplitudo tegangan yg diterapkan	$\hat{\sigma}_a$	=	500 MPa
Konstanta	A	=	927 MPa
Konstanta	b	=	$B = -0.138$

a) Berdasarkan saran yang diusulkan pada soal di atas, kita bisa menghitung tegangan amplitudo σ_{a1} yang berkorespondensi dengan *failure* pada *life* yang disarankan menggunakan perbandingan di bawah ini:

$$\frac{\sigma_{a1}}{\sigma_a} = \frac{AN_f'^B}{AN_f{}^B} = \left(\frac{N_f'}{N_f}\right)^B$$

$$\frac{\sigma_{a1}}{500\text{ MPa}} = \left(\frac{0.65\times10^5}{1.94\times10^5}\right)^{-0.138}$$

$$\sigma_{a1} = 500\text{ MPa } \times 1.1629 = 581.4500\text{ MPa}$$

Sehingga nilai *safety factor in stress* adalah:

$$X_S = \frac{\sigma_{a1}}{\hat{\sigma}_a} = \frac{581.4500\text{ MPa}}{500\text{ MPa}} = 1.1629$$

Dari nilai *safety factor in stress* di atas kita dapatkan nilai *safety factor in life* sebagai berikut:

$$X_S = X_N{}^{-B}$$

$$X_N = X_S^{1/-B} = (1.1629)^{1/-(-0.138)} = 2.9850 \approx 3$$

Berdasarkan hasil perhitungan *safety factor* di atas, saran yang diusulkan oleh soal 9.9 di atas **baik** karena nilai *safety factor in life* $X_N > 1$ dan *safety factor in stress* $X_S > 1$.

9.10 A part of made of Ti-6Al-4V (solution treated and aged) will be subjected in service to a stress amplitude of $\sigma_a = 500$ MPa, and the desired service life is 60000 cycles

a) What are safety factors in stress and in life? Do these seem resonable for an actual stress engineering application? Explain why or why not?

b) If a safety factor of 1.3 in stress is considered adequate, how many cycles can be applied in service before the part is replaced?

Jawab

Berdasarkan soal di atas dan tabel 9.1 di buku Norman E. Dowling, untuk Ti-6Al-4V (*solution treated and aged*) diketahui:

Jumlah siklus yang diterapkan	$\hat{N}$	=	**60000**
Amplitudo tegangan yg diterapkan	$\hat{\sigma}_a$	=	**500 MPa**
Konstanta	A	=	**1889 MPa**
Konstanta	b	=	$B = -0.104$

a) Untuk mencari nilai *safety factor in life*, terlebih dahulu kita hitung nilai *life* atau jumlah siklus hingga *fracture* terjadi (umur fatik) ketika $\sigma_a = \hat{\sigma}_a$:

$$\sigma_a = \hat{\sigma}_a = AN_{f2}^B$$

$$N_{f2} = \left(\frac{\hat{\sigma}_a}{A}\right)^{1/B} = \left(\frac{500\text{ MPa}}{1889\text{ MPa}}\right)^{1/(-0.104)}$$

$$N_{f2} = 3.5530 \times 10^5$$

Sehingga nilai *safety factor in life* adalah:

$$X_N = \frac{N_{f2}}{\hat{N}}$$

$$X_N = \frac{3.5530 \times 10^5}{60000} = 5.9217$$

Setelah itu, nilai *safety factor in stress* bisa dihitung dari nilai *safety factor in life* dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$X_S = X_N{}^{-B} = (5.9217)^{-0.104} = 1.2032$$

Nilai *safety factor* di atas cukup baik dan tidak menyebabkan kegagalan karena nilai *safety factor in life* $(X_N > 1)$ sehingga nilai $X_S > 1$.

b) Jika *safety factor in stress* $X_S = 1.3$ dianggap memadai, jumlah siklus yang dapat diterapkan sebelum beberapa bagian sistem diganti adalah:

$$X_S = \frac{\sigma_{a1}}{\hat{\sigma}_a} = \frac{1}{\hat{\sigma}_a}\sigma_{a1}$$

$$X_S = \frac{1}{\hat{\sigma}_a}AN_f^B$$

$$N_f = \left(\frac{X_S\hat{\sigma}_a}{A}\right)^{1/B}$$

$$N_f = \left(\frac{1.3\times500}{1889}\right)^{1/(-0.104)} \approx 28509 \text{ siklus}$$

9.11 A part made of the Man-Ten (hot rolled) steel of table 9.1 is subjected in service to a stress amplitude of $\sigma_a = 150$ MPa. If a safety factor if 1.5 on stress is considered adequate, how many cycle can be allowed to occur in service before the part is replaced? What is the corresponding safety factor on life?

Jawab:

Berdasarkan data dari soal di atas dan dari tabel 9.1 di buku Norman E. Dowling, untuk Man-Ten (*hot rolled*) diketahui:

Amplitudo tegangan yg diterapkan	$\hat{\sigma}_a$	=	150 **MPa**
Safety Factor	X_S	=	1.5
Konstanta	A	=	**1006 MPa**
Konstanta	b	=	$B = -0.115$

Berdasarkan data di atas, jumlah siklus yang dapat diterapkan sebelum beberapa bagian sistem diganti adalah:

$$X_S = \frac{\sigma_{a1}}{\hat{\sigma}_a} = \frac{1}{\hat{\sigma}_a}\sigma_{a1}$$

$$X_S = \frac{1}{\hat{\sigma}_a} A N_f^B$$

$$N_f = \left(\frac{X_S \hat{\sigma}_a}{A}\right)^{1/B}$$

$$N_f = \left(\frac{1.5 \times 150}{1006}\right)^{1/(-0.115)}$$

$$N_f \approx 4.5268 \times 10^5 \text{ siklus}$$

Sehingga, nilai *safety factor in life* di atas adalah:

$$X_N{}^{-B} = X_S$$

$$X_N = X_S{}^{-1/B} = (1.5)^{-1/(-0.115)} = 33.9804$$

SECTION 9.7

9.21 The SAE 1015 steel of Table 9.1 is subjected to a stress amplitude of $\sigma_a = 200$ MPa. Using the Morrow equation the life for mean stress σ_m of (a) zero, (b) 80 MPa tension, and (c) 80 MPa compression

Jawab

Berdasarkan data yang diberikan oleh soal di atas dan tabel 9.1, diketahui bahwa:

$$\boldsymbol{\sigma_a} = \mathbf{200\ MPa}$$
$$\boldsymbol{\sigma'_f} = \mathbf{1020\ MPa}$$
$$\boldsymbol{A} = \mathbf{927\ MPa}$$
$$\boldsymbol{b} = \mathbf{-0.138}$$

Karena bahan di atas merupakan salah satu jenis ***steel***, persamaan Morrow dengan menggunakan **konstanta $\boldsymbol{\sigma'_f}$** seperti pada persamaan 9.17b di buku Norman E. Downling sangat tepat digunakan untuk menghitung *life* pada kasus ini.

(a) Ketika tegangan rata-rata $\sigma_m = 0$, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan Morrow sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{\sigma'_f}}$$

$$\sigma_{ar} = \frac{200\ \text{MPa}}{1 - \frac{0}{1020\ \text{MPa}}}$$

$$\sigma_{ar} = 200\ \text{MPa}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = 0$ diperoleh dari pendekatan Morrow sebagai berikut:

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma'_f}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{200\ \text{MPa}}{1020\ \text{MPa}}\right)^{1/(-0.138)}$$

$$N_f = 67033\ \text{siklus}$$

(b) Ketika tegangan rata-rata tarik $\sigma_m = 80$ MPa, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan Morrow sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{\sigma'_f}}$$

$$\sigma_{ar} = \frac{200\ \text{MPa}}{1 - \frac{80\ \text{MPa}}{1020\ \text{MPa}}}$$

$$\sigma_{ar} \approx 217.0213\ \text{MPa}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = 80$ MPa diperoleh dari pendekatan Morrow sebagai berikut:

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma_f'}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{217.0213 \text{ MPa}}{1020 \text{ MPa}}\right)^{1/(-0.138)}$$

$$N_f \approx 37089 \text{ siklus}$$

(c) Ketika tegangan rata-rata kompresi $\sigma_m = -80$ MPa, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan Morrow sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_f'}}$$

$$\sigma_{ar} = \frac{200 \text{ MPa}}{1 - \frac{-80 \text{ MPa}}{1020 \text{ MPa}}}$$

$$\sigma_{ar} \approx 185.4545 \text{ MPa}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = -80$ MPa diperoleh dari pendekatan Morrow sebagai berikut:

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma_f'}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{217.0213 \text{ MPa}}{1020 \text{ MPa}}\right)^{1/(-0.138)}$$

$$N_f \approx 115860 \text{ siklus} \approx 1.16 \times 10^5 \text{ siklus}$$

9.22 Proses as in Prob. 9.21 except use the SWT equation.

<u>Jawab</u> : (Data-data yang digunakan sama seperti pada soal 9.21)

Penggunaan persamaan SWT pada kasus ini adalah pilihan yang bagus untuk **pendekatan yang lebih umum** meskipun memang lebih bagus pendekatan ini digunakan untuk ***alluminum alloy***. Jadi, penggunaan pendekatan ini boleh saja digunakan untuk **SAE 1015 *steel*** seperti pada kasus ini**.**

(a) Ketika tegangan rata-rata $\sigma_m = 0$, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan SWT sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \sqrt{\sigma_{max}\sigma_a} = \sqrt{(\sigma_m + \sigma_a)\sigma_a}$$

$$\sigma_{ar} = \sqrt{(0 + 200 \text{ MPa})200 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{ar} = 200 \text{ MPa}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = 0$ diperoleh dari pendekatan SWT sebagai berikut:

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma'_f}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{200\ \text{MPa}}{1020\ \text{MPa}}\right)^{1/(-0.138)}$$

$$N_f = 67033\ \text{siklus} \approx 6.7 \times 10^4\ \text{siklus}$$

(b) Ketika tegangan rata-rata tarik $\sigma_m = 80$ MPa, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan SWT sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \sqrt{\sigma_{max}\sigma_a} = \sqrt{(\sigma_m + \sigma_a)\sigma_a}$$

$$\sigma_{ar} = \sqrt{(80\ \text{MPa} + 200\ \text{MPa})200\ \text{MPa}}$$

$$\sigma_{ar} = 236.6432\ \text{MPa}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = 80$ MPa diperoleh dari pendekatan SWT sebagai berikut:

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma'_f}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{236.6432\ \text{MPa}}{1020\ \text{MPa}}\right)^{1/(-0.138)}$$

$$N_f \approx 19808\ \text{siklus} \approx 1.98 \times 10^4\ \text{siklus}$$

(c) Ketika tegangan rata-rata kompresi $\sigma_m = -80$ MPa, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan SWT sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \sqrt{\sigma_{max}\sigma_a} = \sqrt{(\sigma_m + \sigma_a)\sigma_a}$$

$$\sigma_{ar} = \sqrt{(-80\ \text{MPa} + 200\ \text{MPa})200\ \text{MPa}}$$

$$\sigma_{ar} = 154.9193\ \text{MPa}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = -80$ MPa diperoleh dari pendekatan SWT sebagai berikut:

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma'_f}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{154.9193\ \text{MPa}}{1020\ \text{MPa}}\right)^{1/(-0.138)}$$

$$N_f \approx 426670\ \text{siklus} \approx 4.26 \times 10^5\ \text{siklus}$$

9.23 Proses as in Prob. 9.21 except use the Walker equation with $\boldsymbol{\gamma = 0.735}$

Jawab: (Data-data yang digunakan sama seperti pada soal 9.21)

(a) Ketika tegangan rata-rata $\sigma_m = 0$, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan Walker sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \sigma_{max}^{1-\gamma}\sigma_a^{\gamma} = (\sigma_m + \sigma_a)^{1-\gamma}\sigma_a^{\gamma}$$
$$\sigma_{ar} = (0 + 200 \text{ MPa})^{1-0.735}(200 \text{ MPa})^{0.735}$$
$$\sigma_{ar} = 200 \text{ MPa}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = 0$ diperoleh dari pendekatan Walker sebagai berikut:

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma_f'}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{200 \text{ MPa}}{1020 \text{ MPa}}\right)^{1/(-0.138)}$$
$$N_f = 67033 \text{ siklus} \approx 6.7 \times 10^4 \text{ siklus}$$

(b) Ketika tegangan rata-rata tarik $\sigma_m = 80$ MPa, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan Walker sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \sigma_{max}^{1-\gamma}\sigma_a^{\gamma} = (\sigma_m + \sigma_a)^{1-\gamma}\sigma_a^{\gamma}$$
$$\sigma_{ar} = (80 \text{ MPa} + 200 \text{ MPa})^{1-0.735}(200 \text{ MPa})^{0.735}$$
$$\sigma_{ar} = 218.6522 \text{ MPa}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = 80$ MPa diperoleh dari pendekatan Walker sebagai berikut:

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma_f'}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{218.6522 \text{ MPa}}{1020 \text{ MPa}}\right)^{1/(-0.138)}$$
$$N_f \approx 35130 \text{ siklus} \approx 3.51 \times 10^4 \text{ siklus}$$

(c) Ketika tegangan rata-rata kompresi $\sigma_m = -80$ MPa, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan Walker sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \sigma_{max}^{1-\gamma}\sigma_a^{\gamma} = (\sigma_m + \sigma_a)^{1-\gamma}\sigma_a^{\gamma}$$
$$\sigma_{ar} = (-80 \text{ MPa} + 200 \text{ MPa})^{1-0.735}(200 \text{ MPa})^{0.735}$$
$$\sigma_{ar} = 174.6788 \text{ MPa}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = -80$ MPa diperoleh dari pendekatan Walker sebagai berikut:

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma_f'}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{174.6788 \text{ MPa}}{1020 \text{ MPa}}\right)^{1/(-0.138)}$$
$$N_f \approx 178770 \text{ siklus} \approx 1.788 \times 10^5 \text{ siklus}$$

9.24 The AISI 4340 steel of Table 9.1 is subjected to cyclic loading at stress amplitudo of $\sigma_a = 600$ MPa. Using the Morrow equation, estimate the life for mean stress σ_m of (a) zero, (b) 200 MPa tension, and (c) 200 MPa compression.

Jawab

Berdasarkan data yang diberikan oleh soal di atas dan tabel 9.1, diketahui bahwa:

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\sigma_a} &= \mathbf{600\ MPa} \\ \boldsymbol{\sigma'_f} &= \mathbf{1758\ MPa} \\ \boldsymbol{A} &= \mathbf{1643\ MPa} \\ \boldsymbol{b} &= \mathbf{-0.0977} \end{aligned}$$

Karena bahan di atas salah satu jenis ***steel***, persamaan Morrow dengan menggunakan konstanta σ'_f seperti pada persamaan 9.17b di buku Norman E. Downling sangat tepat digunakan untuk menghitung *life* pada kasus ini.

(a) Ketika tegangan rata-rata $\sigma_m = 0$, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan Morrow sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{\sigma'_f}}$$

$$\sigma_{ar} = \frac{600\ \text{MPa}}{1 - \frac{0}{1758\ \text{MPa}}}$$

$$\sigma_{ar} = 600\ \text{MPa}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = 0$ diperoleh dari pendekatan Morrow sebagai berikut:

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma'_f}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{600\ \text{MPa}}{1758\ \text{MPa}}\right)^{1/(-0.0977)}$$

$$N_f = 30030\ \text{siklus} \approx 3 \times 10^4\ \text{siklus}$$

(b) Ketika tegangan rata-rata tarik $\sigma_m = 200$ MPa, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan Morrow sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{\sigma'_f}}$$

$$\sigma_{ar} = \frac{600\ \text{MPa}}{1 - \frac{200\ \text{MPa}}{1758\ \text{MPa}}}$$

$$\sigma_{ar} \approx 677.0218\ \text{MPa}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = 200$ MPa diperoleh dari pendekatan Morrow sebagai berikut:

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma_f'}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{677.0218\ \text{MPa}}{1758\ \text{MPa}}\right)^{1/(-0.0977)}$$
$$N_f \approx 8.7235 \times 10^3\ \text{siklus}$$

(c) Ketika tegangan rata-rata kompresi $\sigma_m = -200$ MPa, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan Morrow sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_f'}}$$
$$\sigma_{ar} = \frac{600\ \text{MPa}}{1 - \frac{-200\ \text{MPa}}{1758\ \text{MPa}}}$$
$$\sigma_{ar} \approx 538.7130\ \text{MPa}$$

Sehingga *life* $\sigma_m = -200$ MPa diperoleh dengan pendekatan Morrow sebagai berikut:

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma_f'}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{538.7130\ \text{MPa}}{1758\ \text{MPa}}\right)^{1/(-0.0977)}$$
$$N_f \approx 90471\ \text{siklus} \approx 9.05 \times 10^4\ \text{siklus}$$

9.25 Proceed as in prob. 9.24, except use the SWT equation.

Jawab: (Data-data yang digunakan sama seperti pada soal 9.24)

Penggunaan persamaan SWT pada kasus ini adalah pilihan yang bagus untuk **pendekatan yang lebih umum** meskipun memang lebih bagus pendekatan ini digunakan untuk ***alluminum alloy***. Jadi, penggunaan pendekatan ini boleh saja digunakan untuk ***AISI 4340 steel*** seperti pada kasus ini**.**

(a) Ketika tegangan rata-rata $\sigma_m = 0$, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan SWT sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \sqrt{\sigma_{max}\sigma_a} = \sqrt{(\sigma_m + \sigma_a)\sigma_a}$$
$$\sigma_{ar} = \sqrt{(0 + 600\ \text{MPa})600\ \text{MPa}}$$
$$\sigma_{ar} = 600\ \text{MPa}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = 0$ diperoleh dari pendekatan SWT sebagai berikut:

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma'_f}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{600\ \text{MPa}}{1758\ \text{MPa}}\right)^{1/(-0.0977)}$$

$$N_f = 30030\ \text{siklus} \approx 3.003 \times 10^4\ \text{siklus}$$

(b) Ketika tegangan rata-rata tarik $\sigma_m = 200$ MPa, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan SWT sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \sqrt{\sigma_{max}\sigma_a} = \sqrt{(\sigma_m + \sigma_a)\sigma_a}$$

$$\sigma_{ar} = \sqrt{(200\ \text{MPa} + 600\ \text{MPa})600\ \text{MPa}}$$

$$\sigma_{ar} = 692.8203\ \text{MPa}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = 200$ MPa diperoleh dari pendekatan SWT sebagai berikut:

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma'_f}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{692.8203\ \text{MPa}}{1758\ \text{MPa}}\right)^{1/(-0.0977)}$$

$$N_f = 6889\ \text{siklus} \approx 6.89 \times 10^3\ \text{siklus}$$

(c) Ketika tegangan rata-rata kompresi $\sigma_m = -200$ MPa, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan SWT sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \sqrt{\sigma_{max}\sigma_a} = \sqrt{(\sigma_m + \sigma_a)\sigma_a}$$

$$\sigma_{ar} = \sqrt{(-200\ \text{MPa} + 600\ \text{MPa})600\ \text{MPa}}$$

$$\sigma_{ar} = 489.8979\ \text{MPa}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = -200$ MPa diperoleh dari pendekatan SWT sebagai berikut:

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma'_f}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{489.8979\ \text{MPa}}{1758\ \text{MPa}}\right)^{1/(-0.0977)}$$

$$N_f \approx 239190\ \text{siklus} \approx 2.39 \times 10^5\ \text{siklus}$$

9.26 Proceed as in Prob 9.24, except use the Walker equation with $\gamma = 0.65$

Jawab: (Data-data yang digunakan sama seperti pada soal nomor 9.24)

(a) Ketika tegangan rata-rata $\sigma_m = 0$, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan Walker sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \sigma_{max}^{1-\gamma}\sigma_a^{\gamma} = (\sigma_m + \sigma_a)^{1-\gamma}\sigma_a^{\gamma}$$

$$\sigma_{ar} = (0 + 600\text{ MPa})^{1-0.65}(600\text{ MPa})^{0.65}$$

$$\sigma_{ar} = 600\text{ MPa}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = 0$ diperoleh dari pendekatan Walker sebagai berikut:

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma_f'}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{600\text{ MPa}}{1758\text{ MPa}}\right)^{1/(-0.0977)}$$

$$N_f = 30030\text{ siklus} \approx 3 \times 10^4\text{ siklus}$$

(b) Ketika tegangan rata-rata tarik $\sigma_m = 200$ MPa, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan Walker sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \sigma_{max}^{1-\gamma}\sigma_a^{\gamma} = (\sigma_m + \sigma_a)^{1-\gamma}\sigma_a^{\gamma}$$

$$\sigma_{ar} = (200\text{ MPa} + 600\text{ MPa})^{1-0.65}(600\text{ MPa})^{0.65}$$

$$\sigma_{ar} = 663.5594\text{ MPa}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = 200$ MPa diperoleh dari pendekatan Walker sebagai berikut:

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma_f'}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{663.5594\text{ MPa}}{1758\text{ MPa}}\right)^{1/(-0.0977)}$$

$$N_f \approx 10715\text{ siklus} \approx 1.07 \times 10^4\text{ siklus}$$

(c) Ketika tegangan rata-rata kompresi $\sigma_m = -200$ MPa, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan Walker sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \sigma_{max}^{1-\gamma}\sigma_a^{\gamma} = (\sigma_m + \sigma_a)^{1-\gamma}\sigma_a^{\gamma}$$

$$\sigma_{ar} = (-200\text{ MPa} + 600\text{ MPa})^{1-0.65}(600\text{ MPa})^{0.65}$$

$$\sigma_{ar} = 520.6182\text{ MPa}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = -200\ \text{MPa}$ diperoleh dari pendekatan Walker sebagai berikut:

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma'_f}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{520.6182\ \text{MPa}}{1758\ \text{MPa}}\right)^{1/(-0.0977)}$$

$$N_f \approx 128350\ \text{siklus} \approx 1.28 \times 10^5\ \text{siklus}$$

9.27 The Aluminum alloy 2024-T4 is subjected to a stress amplitude of $\sigma_a = 250\ \text{MPa}$. Using the Morrow equation in the true fracture strength form, estimate the life for mean stresses σ_m of (a) zero, (b) 120 MPa tension, and (c) 120 MPa compression

<u>Jawab</u>

Berdasarkan data yang diberikan oleh soal di atas dan tabel 9.1, diketahui bahwa:

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\sigma_a} &= \mathbf{250\ MPa} \\ \boldsymbol{\tilde{\sigma}_{fB}} &= \mathbf{631\ MPa} \\ \boldsymbol{\sigma'_f} &= \mathbf{900\ MPa} \\ \boldsymbol{A} &= \mathbf{839\ MPa} \\ \boldsymbol{b} &= \mathbf{-0.102} \end{aligned}$$

Karena bahan di atas merupakan salah satu jenis ***alluminum alloy***, persamaan Morrow dengan menggunakan *true fracture strength* $\boldsymbol{\hat{\sigma}_{fB}}$ sebagai pengganti konstanta σ'_f sangat tepat digunakan untuk menghitung *life* pada kasus ini.

(a) Ketika tegangan rata-rata $\sigma_m = 0$, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan Morrow dalam bentuk *true fracture strength* sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{\tilde{\sigma}_{fB}}}$$

$$\sigma_{ar} = \frac{250\ \text{MPa}}{1 - \frac{0}{631\ \text{MPa}}}$$

$$\sigma_{ar} = 250\ \text{MPa}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = 0$ diperoleh dari pendekatan Morrow dalam bentuk *true fracture strength* sebagai berikut:

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma'_f}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{250\ \text{MPa}}{900\ \text{MPa}}\right)^{1/(-0.102)}$$

$$N_f \approx 1.4221 \times 10^5\ \text{siklus}$$

(b) Ketika tegangan rata-rata tarik $\sigma_m = 120$ MPa, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan Morrow dalam bentuk *true fracture strength* sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{\tilde{\sigma}_{fB}}}$$

$$\sigma_{ar} = \frac{250\ \text{MPa}}{1 - \frac{120\ \text{MPa}}{631\ \text{MPa}}}$$

$$\sigma_{ar} \approx 308.7084\ \text{MPa}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = 120$ MPa diperoleh dari pendekatan Morrow dalam bentuk *true fracture strength* sebagai berikut:

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma'_f}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{308.7084\ \text{MPa}}{900\ \text{MPa}}\right)^{1/(-0.102)}$$

$$N_f \approx 1.7980 \times 10^4 \text{ siklus}$$

(c) Ketika tegangan rata-rata kompresi $\sigma_m = -120$ MPa, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan Morrow dalam bentuk *true fracture strength* sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{\tilde{\sigma}_{fB}}}$$

$$\sigma_{ar} = \frac{250\ \text{MPa}}{1 - \frac{-120\ \text{MPa}}{631\ \text{MPa}}}$$

$$\sigma_{ar} \approx 210.0533\ \text{MPa}$$

Sehingga *life* $\sigma_m = -120$ MPa diperoleh dengan pendekatan Morrow dalam bentuk *true fracture strength* sebagai berikut:

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma'_f}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{210.0533\ \text{MPa}}{900\ \text{MPa}}\right)^{1/(-0.102)}$$

$$N_f \approx 7.84 \times 10^5 \text{ siklus}$$

9.28 Proceed as in prob. 9.27, except use the SWT equation.
<u>Jawab</u>

Data-data yang digunakan sama seperti pada soal 9.27. Penggunaan persamaan SWT adalah pilihan yang bagus untuk pendekatan umum dan sangat cocok untuk ***alluminum alloy*** seperti ***Aluminum alloy*** **2024-T4** seperti pada kasus ini tanpa melibatkan *true fractre strength* $\hat{\sigma}_{fB}$.

(a) Ketika tegangan rata-rata $\sigma_m = 0$, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan SWT sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\sigma_{ar} &= \sqrt{\sigma_{max}\sigma_a} = \sqrt{(\sigma_m + \sigma_a)\sigma_a} \\ \sigma_{ar} &= \sqrt{(0 + 250\text{ MPa})250\text{ MPa}} \\ \sigma_{ar} &= 250\text{ MPa}\end{aligned}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = 0$ diperoleh dari pendekatan SWT sebagai berikut:

$$\begin{aligned}N_f &= \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma_f'}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{250\text{ MPa}}{900\text{ MPa}}\right)^{1/(-0.102)} \\ N_f &\approx 1.4221 \times 10^5\text{ siklus}\end{aligned}$$

(b) Ketika tegangan rata-rata tarik $\sigma_m = 120$ MPa, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan SWT sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\sigma_{ar} &= \sqrt{\sigma_{max}\sigma_a} = \sqrt{(\sigma_m + \sigma_a)\sigma_a} \\ \sigma_{ar} &= \sqrt{(120\text{ MPa} + 250\text{ MPa})250\text{ MPa}} \\ \sigma_{ar} &= 304.1381\text{ MPa}\end{aligned}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = 120$ MPa diperoleh dari pendekatan SWT sebagai berikut:

$$\begin{aligned}N_f &= \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma_f'}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{304.1381\text{ MPa}}{900\text{ MPa}}\right)^{1/(-0.102)} \\ N_f &\approx 2.0811 \times 10^4\text{ siklus}\end{aligned}$$

(c) Ketika tegangan rata-rata kompresi $\sigma_m = -120$ MPa, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan SWT sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\sigma_{ar} &= \sqrt{\sigma_{max}\sigma_a} = \sqrt{(\sigma_m + \sigma_a)\sigma_a} \\ \sigma_{ar} &= \sqrt{(-120\text{ MPa} + 250\text{ MPa})250\text{ MPa}} \\ \sigma_{ar} &= 180.2776\text{ MPa}\end{aligned}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = -120$ MPa diperoleh dari pendekatan SWT sebagai berikut:

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma'_f}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{180.2776 \text{ MPa}}{900 \text{ MPa}}\right)^{1/(-0.102)}$$
$$N_f \approx 3.5080 \times 10^6 \text{ siklus}$$

9.29 For RQC-100 steel, using the Morrow equation, obtain equations relating stress amplitudo σ_a and life N_f for mean stresses σ_m of (a) 200 MPa tension, (b) zero, and (c) 200 MPa compression. Then plot these on log-log coordinates, and comment on the trends observed.

Jawab

Berdasarkan data yang diberikan oleh soal di atas dan tabel 9.1 untuk RQC-100 steel, diketahui bahwa:

$$\boldsymbol{\tilde{\sigma}_{fB} = 1186 \text{ MPa}}$$
$$\boldsymbol{\sigma'_f = 938 \text{ MPa}}$$
$$\boldsymbol{A = 897 \text{ MPa}}$$
$$\boldsymbol{b = -0.0648}$$

(a) Persamaan tegangan – umur fatik yang lebih umum dari persamaan Morrow untuk tegangan rata-rata tarik $\sigma_m = 200$ MPa pada RQC-100 *steel* adalah sebagai berikut:

$$\sigma_a = (\sigma'_f - \sigma_m)(2N_f)^b = (938 - 200)(2N_f)^{-0.0648}$$
$$\sigma_a = 738(2N_f)^{-0.0648}$$

(b) Persamaan tegangan – umur fatik yang lebih umum dari persamaan Morrow untuk tegangan rata-rata $\sigma_m = 0$ MPa RQC-100 *steel* adalah sebagai berikut:

$$\sigma_a = (\sigma'_f - \sigma_m)(2N_f)^b = (938 - 0)(2N_f)^{-0.0648}$$
$$\sigma_a = 938(2N_f)^{-0.0648}$$

(c) Persamaan tegangan – umur fatik yang lebih umum dari persamaan Morrow untuk tegangan rata-rata kompresi $\sigma_m = -200$ MPa RQC-100 *steel* adalah sebagai berikut:

$$\sigma_a = (\sigma'_f - \sigma_m)(2N_f)^b = (938 - (-200))(2N_f)^{-0.0648}$$
$$\sigma_a = 1138(2N_f)^{-0.0648}$$

9.30 Proceed as in Prob. 9.29, except change the material to 2024-T4 aluminum alloy and use SWT equation.

Jawab:

Berdasarkan data yang diberikan oleh soal di atas dan tabel 9.1 untuk *2024-T4 aluminum alloy*, diketahui bahwa:

$$\boldsymbol{\tilde{\sigma}_{fB} = 631\ \mathrm{MPa}}$$
$$\boldsymbol{\sigma'_f = 900\ \mathrm{MPa}}$$
$$\boldsymbol{A = 839\ \mathrm{MPa}}$$
$$\boldsymbol{b = -0.102}$$

(a) Persamaan tegangan – umur fatik dari persamaan SWT untuk tegangan rata-rata tarik $\sigma_m = 200$ MPa pada *2024-T4 aluminum alloy* adalah sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \sqrt{(\sigma_m + \sigma_a)\sigma_a} = \sqrt{(200 + \sigma_a)\sigma_a}$$

Sehinga

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma'_f}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{\sqrt{(200 + \sigma_a)\sigma_a}}{900\ \mathrm{MPa}}\right)^{1/(-0.102)}$$

(b) Persamaan tegangan – umur fatik dari persamaan SWT untuk nilai tegangan rata-rata $\sigma_m = 0$ MPa pada *2024-T4 aluminum alloy* adalah sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \sqrt{(\sigma_m + \sigma_a)\sigma_a} = \sqrt{(0 + \sigma_a)\sigma_a}$$

Sehinga

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma'_f}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_a}{900\ \mathrm{MPa}}\right)^{1/(-0.102)}$$

(c) Persamaan tegangan – umur fatik dari persamaan SWT untuk tegangan rata-rata kompresi $\sigma_m = -200$ MPa *2024-T4 aluminum alloy* adalah sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \sqrt{(\sigma_m + \sigma_a)\sigma_a} = \sqrt{(-200 + \sigma_a)\sigma_a}$$

Sehinga

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma'_f}\right)^{1/b} = \frac{1}{2}\left(\frac{\sqrt{(\sigma_a - 200)\sigma_a}}{900\ \mathrm{MPa}}\right)^{1/(-0.102)}$$

9.31 Consider the data for AISI 4340 steel at various mean stresses from Tables E9.1 and E9.5.

a) Prepare a plot of these data similar to fig. 9.39 (Suggestion: start by calculating σ_{ar} from each N_f value, using constants from Table 9.1.)

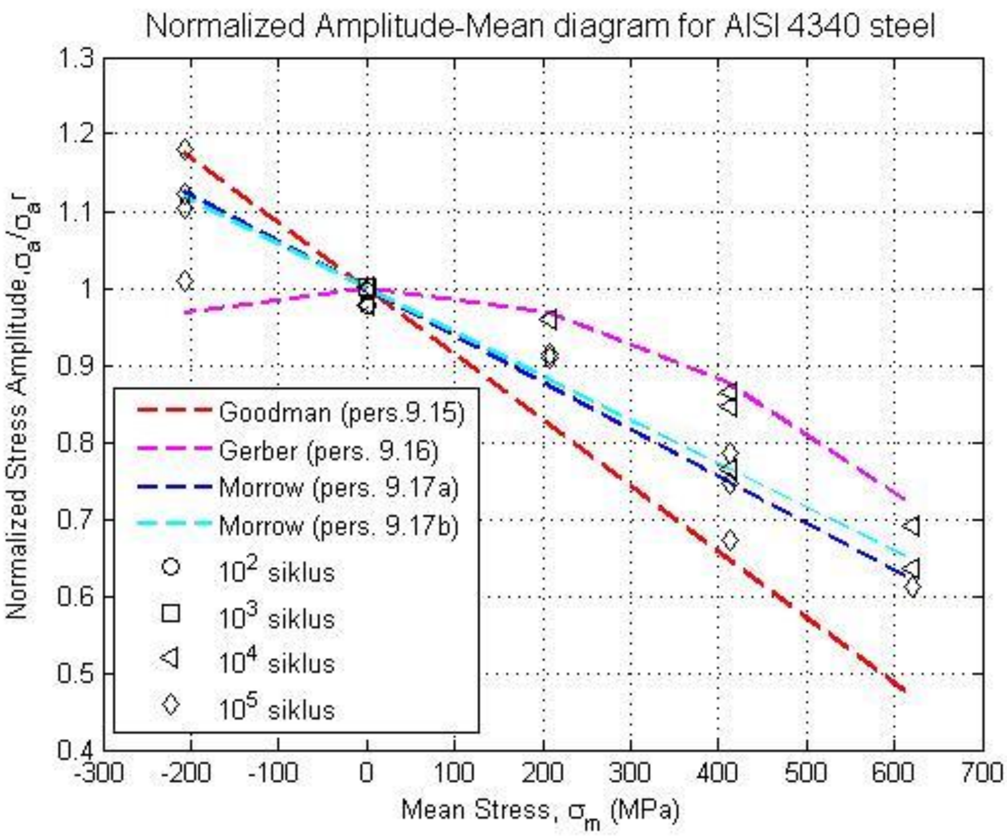
b) On plot (a), add lines for Eqs. 9.15, 9.16, 9.17 (a), and 9.17(b), and briefly discuss the success of these equations in representing the data.

<u>Jawab</u>:

a) Menghitung σ_{ar} untuk setiap nilai umur fatik N_f dengan menggunakan persamaan $\sigma_{ar} = \sigma_f'(2N_f)^b$ dan menggunakan konstanta dari tabel 9.1 untuk AISI 4340 *steel*.

σ_a **MPa**	σ_m **MPa**	N_f **siklus**	***Reversed stress amplitude,*** σ_{ar} **MPa** $\sigma_{ar} = \sigma_f'(2N_f)^b$	σ_a/σ_{ar}
379	621	73.780	549.5543	0.6896
345	621	83.810	542.7530	0.6356
276	621	567.590	450.2348	0.6130
517	414	31.280	597.6139	0.8651
483	414	50.490	570.3022	0.8469
414	414	84.420	542.3686	0.7633
345	414	437.170	461.8668	0.7470
345	414	730.570	439.2669	0.7854
310	414	445.020	461.0644	0.6724
552	207	45.490	576.1424	0.9581
483	207	109.680	528.6738	0.9136
414	207	510.250	454.9439	0.9100
948	0	222	969.1021	0.9782
834	0	992	837.2382	0.9961
703	0	6004	702.1899	1.0012
631	0	14.130	645.8614	0.9770
579	0	43.860	578.2001	1.0014
524	0	132.150	519.1346	1.0094
586	-207	208.030	496.6236	1.1800
552	-207	193.220	500.2199	1.1035
483	-207	901.430	430.3397	1.1224

b) Grafik *normalized amplitude-mean diagram* yang diperoleh (menggunakan MATLAB) dari hasil perhitungan pada bagian (a) dengan menambahkan garis persamaan 9.15 (Goodman), 9.16 (Gerber), 9.17a (Morrow dengan σ_f'), dan 9.17b (Morrow dengan $\hat{\sigma}_{fB}$) adalah sebagai berikut:



Dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa keseluruhan data berada di antara dua garis persamaan Goodman dan Gerber. Di samping itu kita bisa lihat bahwa hanya sebagian kecil saja data yang dekat dengan garis persamaan Goodman, itu pun untuk data-data tegangan kompresi, sisanya berada jauh dari prediksi Goodman. Lain halnya dengan prediksi Gerber, garis persamaan Gerber sedikit berhasil memprediksi data tegangan tarik untuk orde 10^4 siklus tapi tidak dalam memprediksi data-data tegangan kompresi. Morrow juga menunjukkan sedikit keberhasilannya prediksinya, persamaan morrow 9.17b jauh lebih mendekati data-data eksperimen (khususnya untuk jumlah siklus dengan orde yang sangat tinggi sekitar 10^5) dibandingkan dengan persamaan morrow 9.17a. Hal itu disebabkan karena data-data eksperimen di atas diambil dari bahan AISI 4340 *steel*, di mana untuk jenis *steel* lebih cocok menggunakan persamaan 9.17b.

9.36 The steel SAE 4142 (450 HB) will be subjected in service to a stress amplitude σ_a = 500 MPa and mean stress σ_m = 450 MPa. A service life of 8000 cycles is desired. What are the safety factors in stress and in life?

<u>Jawab</u>

Berdasarkan soal di atas dan tabel 9.1 di buku Norman E. Dowling, untuk SAE 4142 (450 HB) diketahui:

Jumlah siklus yang diterapkan	$\hat{N}$	=	**8000**
Amplitudo tegangan yg diterapkan	$\hat{\sigma}_a$	=	**500 MPa**

Tegangan rata-rata (*mean stress*)	$\boldsymbol{\sigma_m}$	=	**450 MPa**
Konstanta tegangan	$\boldsymbol{\sigma_f'}$	=	**1937 MPa**
Konstanta material	$\boldsymbol{A}$	=	**1837 MPa**
Konstanta material	$\boldsymbol{b}$	=	$\boldsymbol{B = -0.0762}$

(**Bagian 1: Menggunakan Pendekatan Morrow**)

Ketika tegangan rata-rata $\sigma_m = 450$, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan Morrow sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_f'}}$$

$$\sigma_{ar} = \frac{500\text{ MPa}}{1 - \frac{450}{1937\text{ MPa}}}$$

$$\sigma_{ar} = 651.3114\text{ MPa}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = 450$ diperoleh dari pendekatan Morrow sebagai berikut:

$$N_f = \left(\frac{\sigma_{ar}}{A}\right)^{1/b} = \left(\frac{651.3114\text{ MPa}}{1837\text{ MPa}}\right)^{1/(-0.0762)}$$

$$N_f \approx 8.1230 \times 10^5\text{ siklus}$$

Dengan demikian, nilai *safety factor in life* adalah:

$$X_N = \frac{N_f}{\hat{N}}$$

$$X_N = \frac{8.1230 \times 10^5}{8000} = 101.5378$$

Setelah itu, nilai *safety factor in stress* bisa dihitung dari nilai *safety factor in life* dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$X_S = X_N{}^{-B} = (101.5378)^{-(-0.0762)} = 1.4220$$

(**Bagian 2: Menggunakan Pendekatan SWT**)

Ketika tegangan rata-rata $\sigma_m = 450$, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan **pendekatan SWT** sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \sqrt{\sigma_{max}\sigma_a} = \sqrt{(\sigma_m + \sigma_a)\sigma_a}$$
$$\sigma_{ar} = \sqrt{(450\text{ MPa} + 500\text{ MPa})500\text{ MPa}}$$
$$\sigma_{ar} = 689.2024\text{ MPa}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = 450$ diperoleh dari **pendekatan SWT** sebagai berikut:

$$N_f = \left(\frac{\sigma_{ar}}{A}\right)^{1/b} = \left(\frac{689.2024\text{ MPa}}{1837\text{ MPa}}\right)^{1/(-0.0762)}$$
$$N_f \approx 3.8675 \times 10^5\text{ siklus}$$

Dengan demikian, nilai *safety factor in life* adalah:

$$X_N = \frac{N_f}{\hat{N}}$$
$$X_N = \frac{3.8675 \times 10^5}{8000} = 48.3440$$

Setelah itu, nilai *safety factor in stress* bisa dihitung dari nilai *safety factor in life* dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$X_S = X_N{}^{-B} = (48.3440)^{-(-0.0762)} = 1.3438$$

9.37 Alluminum alloy 2024-T4 will be subjected in service to a stress amplitude $\sigma_a = 200$ MPa and a mean stress $\sigma_m = 250$ MPa. A service life of 5000 cycles is desired. What are the safety factors in stress and in life?
<u>Jawab</u>

Berdasarkan soal di atas dan tabel 9.1 di buku Norman E. Dowling, untuk **Alluminum alloy 2024-T4** diketahui:

Jumlah siklus yang diterapkan	$\hat{N}$	=	**5000**
Amplitudo tegangan yg diterapkan	$\hat{\sigma}_a$	=	**200 MPa**

Tegangan rata-rata (*mean stress*)	$\boldsymbol{\sigma_m}$	=	$\mathbf{250\ MPa}$
Konstanta tegangan	$\boldsymbol{\sigma'_f}$	=	$\mathbf{900\ MPa}$
Konstanta material	$\boldsymbol{A}$	=	$\mathbf{839\ MPa}$
Konstanta material	$\boldsymbol{b}$	=	$\boldsymbol{B = -0.102}$

(**Bagian 1: Menggunakan Pendekatan Morrow**)

Ketika tegangan rata-rata $\sigma_m = 250$, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan Morrow sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{\sigma'_f}}$$

$$\sigma_{ar} = \frac{200\ \text{MPa}}{1 - \frac{250}{900\ \text{MPa}}}$$

$$\sigma_{ar} = 276.9231\ \text{MPa}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = 250$ diperoleh dari pendekatan Morrow sebagai berikut:

$$N_f = \left(\frac{\sigma_{ar}}{A}\right)^{1/b} = \left(\frac{276.9231\ \text{MPa}}{839\ \text{MPa}}\right)^{1/(-0.102)}$$

$$N_f \approx 5.2437 \times 10^4 \text{ siklus}$$

Dengan demikian, nilai *safety factor in life* adalah:

$$X_N = \frac{N_f}{\hat{N}}$$

$$X_N = \frac{5.2437 \times 10^4}{5000} = 10.4873$$

Setelah itu, nilai *safety factor in stress* bisa dihitung dari nilai *safety factor in life* dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$X_S = {X_N}^{-B} = (10.4873)^{-(-0.102)} = 1.2709$$

(**Bagian 2: Menggunakan Pendekatan SWT**)

Ketika tegangan rata-rata $\sigma_m = 250$, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan **pendekatan SWT** sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \sqrt{\sigma_{max}\sigma_a} = \sqrt{(\sigma_m + \sigma_a)\sigma_a}$$
$$\sigma_{ar} = \sqrt{(250\text{ MPa} + 200\text{ MPa})200\text{ MPa}}$$
$$\sigma_{ar} = 300\text{ MPa}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = 250$ diperoleh dari **pendekatan SWT** sebagai berikut:

$$N_f = \left(\frac{\sigma_{ar}}{A}\right)^{1/b} = \left(\frac{300\text{ MPa}}{839\text{ MPa}}\right)^{1/(-0.102)}$$
$$N_f \approx 2.3924 \times 10^4 \text{ siklus}$$

Dengan demikian, nilai *safety factor in life* adalah:

$$X_N = \frac{N_f}{\hat{N}}$$
$$X_N = \frac{2.3924 \times 10^4}{5000} = 4.7848$$

Setelah itu, nilai *safety factor in stress* bisa dihitung dari nilai *safety factor in life* dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$X_S = X_N{}^{-B} = (4.7848)^{-(-0.102)} = 1.1731$$

9.38 The AISI 4340 steel of Table 9.1 will be subjected in service to a stress amplitude $\sigma_a = 400$ MPa and a mean stress $\sigma_m = 100$ MPa. A service life of 3000 cycles is desired. What are the safety factors in stress and in life?

<u>Jawab</u>

Berdasarkan soal di atas dan tabel 9.1 di buku Norman E. Dowling, untuk **AISI 4340 steel** diketahui:

Jumlah siklus yang diterapkan	$\hat{N}$	=	**3000**
Amplitudo tegangan yg diterapkan	$\hat{\sigma}_a$	=	**400 MPa**
Tegangan rata-rata (*mean stress*)	σ_m	=	**100 MPa**
Konstanta tegangan	σ'_f	=	**1758 MPa**

Konstanta material $\boldsymbol{A}$ = **1643 MPa**
Konstanta material $\boldsymbol{b}$ = $\boldsymbol{B = -0.0977}$

(**Bagian 1: Menggunakan Pendekatan Morrow**)

Ketika tegangan rata-rata $\sigma_m = 100$, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan pendekatan Morrow sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_f'}}$$

$$\sigma_{ar} = \frac{400 \text{ MPa}}{1 - \frac{100}{1758 \text{ MPa}}}$$

$$\sigma_{ar} = 424.1255 \text{ MPa}$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = 100$ diperoleh dari pendekatan Morrow sebagai berikut:

$$N_f = \left(\frac{\sigma_{ar}}{A}\right)^{1/b} = \left(\frac{424.1255 \text{ MPa}}{1643 \text{ MPa}}\right)^{1/(-0.0977)}$$

$$N_f \approx 1.0469 \times 10^6 \text{ siklus}$$

Dengan demikian, nilai *safety factor in life* adalah:

$$X_N = \frac{N_f}{\hat{N}}$$

$$X_N = \frac{1.0469 \times 10^6}{3000} = 348.9542$$

Setelah itu, nilai *safety factor in stress* bisa dihitung dari nilai *safety factor in life* dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$X_S = {X_N}^{-B} = (348.9542)^{-(-0.0977)} = 1.7719$$

(**Bagian 2: Menggunakan Pendekatan SWT**)

Ketika tegangan rata-rata $\sigma_m = 100$, *reversed stress amplitude* dapat dihitung menggunakan **pendekatan SWT** sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \sqrt{\sigma_{max}\sigma_a} = \sqrt{(\sigma_m + \sigma_a)\sigma_a}$$

$$\sigma_{ar} = \sqrt{(100 \text{ MPa} + 400 \text{ MPa})400 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{ar} = 447.2136 \text{ MPa}$$

=

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = 250$ diperoleh dari **pendekatan SWT** sebagai berikut:

$$N_f = \left(\frac{\sigma_{ar}}{A}\right)^{1/b} = \left(\frac{447.2136 \text{ MPa}}{1643 \text{ MPa}}\right)^{1/(-0.0977)}$$

$$N_f \approx 6.0850 \times 10^5 \text{ siklus}$$

Dengan demikian, nilai *safety factor in life* adalah:

$$X_N = \frac{N_f}{\hat{N}}$$

$$X_N = \frac{6.0850 \times 10^5}{3000} = 202.8348$$

Setelah itu, nilai *safety factor in stress* bisa dihitung dari nilai *safety factor in life* dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$X_S = X_N{}^{-B} = (202.8348)^{-(-0.0977)} = 1.6804$$

9.39 The Alloy Ti-6Al-4V of Table 9.1 is employed in a service situation where the stress amplitude is fixed at $\boldsymbol{\sigma_a = 350}$ MPa, but where the mean stress can vary. A mean stress $\boldsymbol{\sigma_m = 200}$ MPa is expected in service and a service life of 12000 cycles is desired.

a) What is the safety factor in life?

b) What load factor $\boldsymbol{Y = Y_a = Y_m}$ corresponds to the 12000 cycle service in life?

<u>Jawab</u>

Berdasarkan soal di atas dan tabel 9.1 di buku Norman E. Dowling, untuk **Alloy Ti-6Al-4V** diketahui:

Jumlah siklus yang diterapkan $\quad \boldsymbol{\hat{N} = 12000}$

Amplitudo tegangan yg diterapkan	$\hat{\sigma}_a$	=	$\mathbf{350\ MPa}$
Tegangan rata-rata (*mean stress*)	σ_m	=	$\mathbf{200\ MPa}$
True Fracture Strength	$\hat{\sigma}_{fB}$	=	$\mathbf{1717\ MPa}$
Konstanta tegangan	σ'_f	=	$\mathbf{2030\ MPa}$
Konstanta material	A	=	**1889 MPa**
Konstanta material	b	=	$\boldsymbol{B = -0.104}$

a) Dengan menggunakan pendekatan Morrow, *reversed stress amplitude* σ_{ar} dapat dihitung sebagai berikut:

$$\sigma_{ar} = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{\hat{\sigma}_{fB}}}$$

$$\sigma_{ar} = \frac{350\ \text{MPa}}{1 - \frac{200\ \text{MPa}}{1717}}$$

$$\sigma_{ar} = 388.2514$$

Sehingga *life* untuk $\sigma_m = 100$ diperoleh dari pendekatan Morrow sebagai berikut:

$$N_f = \left(\frac{\sigma_{ar}}{A}\right)^{1/b} = \left(\frac{388.2514\ \text{MPa}}{1889\ \text{MPa}}\right)^{1/(-0.104)}$$

$$N_f \approx 4.0449 \times 10^6 \text{ siklus}$$

Dengan demikian, nilai *safety factor in life* adalah:

$$X_N = \frac{N_f}{\hat{N}}$$

$$X_N = \frac{4.0449 \times 10^6}{12000} = 337.0791$$

b) Untuk mendapatkan *load factor* kita bisa menggunakan persamaan 9.26(b) dari buku E. Dowling untuk mendapatkan nilai σ'_{ar1} sebagai berikut:

$$\sigma'_{ar1} = \sigma'_f\left(2\hat{N}\right)^b$$

$$\sigma'_{ar1} = 2030\ \text{MPa} \times (2 \times 12000)^{-0.104}$$

$$\sigma'_{ar1} = 711.1383\ \text{MPa}$$

Kemudian substitusi persamaan di atas ke persamaan 9.26(a) pada buku Norman E. Dowling untuk mendapatkan *load factor* sebagai berikut:

$$\sigma'_{ar1} = \frac{Y_a \hat{\sigma}_a}{1 - \frac{Y_m \hat{\sigma}_m}{\sigma'_f}}$$

$$711.1383 \text{ MPa} = \frac{Y_a 350 \text{ MPa}}{1 - \frac{Y_m 200 \text{ MPa}}{2030 \text{ MPa}}}$$

Dengan membuat $Y = Y_a = Y_m$ (sesuai dengan perindah soal nomor 9.39), *load factor* dapat diperoleh sebagai berikut:

$$711.1383 \text{ MPa} = \frac{Y\ 350 \text{ MPa}}{1 - \frac{Y\ 200 \text{ MPa}}{2030 \text{ MPa}}}$$

$$350Y = \left(711.1383\ - 711.1383\ \frac{200Y}{2030}\right)$$

$$Y = \frac{711.1383}{\left(350 + 711.1383 \frac{200}{2030}\right)}$$

$$Y = 1.6929$$

SECTION 9.9

9.44 At a location of interest in engineering component made of 2024-T4 aluminum, the material is repeatedly subjected to the uniaxial stress history shown in Fig. P9.44. Estimate the number of repetitions necessary to cause fatigue failure

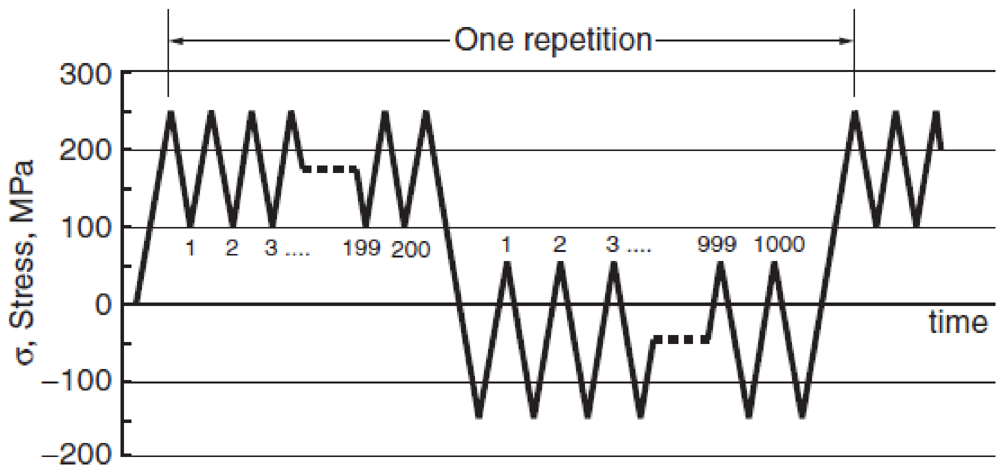


Figure P9.44

Jawab

Dalam satu pengulangan (berdasarkan riwayat tegangan yang ditampilkan gambar P9.44 di atas), tegangan meningkat dari nol ke 250 MPa dan kemudian turun kembali melewati nol menurun ke tegangan -150 MPa dan naik kembali menuju nol. Dalam satu pengulangan tersebut juga terdapat siklus dengan $\sigma_{min} = 100$ MPa dan $\sigma_{max} = 250$ MPa. Semua riwayat tegangan dalam satu pengulangan dirangkum dalam tabel di bawah ini:

(**Perhitungan *reversed stress amplitude* σ_{ar} menggunakan Pendekatan SWT**)

j	N_j	σ_{min}	σ_{max}	σ_a	σ_m	$N_{fj} = \left(\frac{\sigma_{ar}}{A}\right)^{1/b}$	N_j/N_{fj}
1	200	100	250	75	175	5.2269×10^7	3.8263×10^{-6}
2	1	-150	250	200	50	4.2674×10^5	2.3433×10^{-6}
3	1000	-150	50	100	-50	3.4051×10^{10}	2.9368×10^{-8}
						$\sum \frac{N_j}{N_{fj}}$	6.2305×10^{-6}

The life in repetition to failure B_f kemudian dapat diestimasi dari nilai-nilai N dan N_f dalam tabel di atas dengan menggunakan menggunakan aturan Palmgren-Miner rule sebagai berikut.

$$B_f = 1/\sum \frac{N_j}{N_{fj}}$$

$$B_f = \frac{1}{6.2305 \times 10^{-6}} = 1.6050 \times 10^5$$