

ANALISIS TEGANGAN BAUT PENGUNCI GIRTH-GEAR KILN

Devi Chandra¹, Gunawarman¹, M. Fadli²

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas

² Alumni Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas

ABSTRAK

Girth-gear merupakan penggerak utama kiln pada pabrik semen yang terpasang pada shell kiln. Konstruksinya terdiri dari dua bagian setengah lingkaran yang dihubungkan dengan menggunakan baut dan pin. Apabila salah satu dari baut atau pin mengalami kegagalan maka fungsi driver akan terganggu. Baut pengunci kiln driver sering mengalami kegagalan/patah sehingga perlu dilakukan analisa tegangan yang bekerja pada baut untuk mengetahui penyebab kegagalannya. Dari hasil pengujian tarik diketahui bahwa tegangan ultimate baut sebesar 891 Mpa dan Tegangan Yield 744 Mpa. Perhitungan tegangan secara teoritik dilakukan pada lima kondisi pembebanan berdasarkan pada posisi titik tangkap gaya tekan roda gigi penggerak kiln terhadap baut pengunci kiln yaitu 1800, 1350, 900, 450 dan 00. Dari hasil perhitungan didapatkan tegangan terbesar terjadi ketika baut pengunci girth-gear tepat berada pada titik kerja gaya tekan roda gigi penggerak kiln dengan besar tegangan 263 MPa. Tegangan ini jauh lebih kecil dari Tegangan Yield baut sehingga tidak mungkin terjadi gagal statik pada baut. Dengan demikian perlu dilakukan analisis dinamik dengan menggunakan Diagram Goodman. Dari analisis dengan diagram Goodman diketahui bahwa kegagalan yang terjadi pada baut adalah gagal fatigue (lelah).

1. PENDAHULUAN

Kiln merupakan bagian yang sangat penting dari sebuah pabrik semen, dimana kiln sangat mempengaruhi produksi dari seluruh elemen pabrik. Kiln digunakan sebagai tempat pembakaran rawmix menjadi klinker. Konstruksi dari kiln berbentuk tabung (silinder) yang terbuat dari pelat baja, bagian dalamnya diberi lapisan batu tahan api, dan mempunyai saluran inlet dan outlet. Dalam operasinya kiln berputar diatas tumpuan dengan menggunakan dua buah motor penggerak. Kiln dipasang dengan kemiringan 4% dari panjang kiln atau sekitar 20 sampai dengan 50. Kiln berputar dengan kecepatan sekitar 2,5 sampai dengan 3,1 rpm dan digerakkan oleh 2 buah motor penggerak dengan daya masing-masing motor adalah 600 kW. Dari motor penggerak putaran diteruskan ke girth-gear yang terpasang pada shell kiln dengan menggunakan roda gigi pinion.

Konstruksi girth-gear terdiri dari dua bagian setengah lingkaran yang dihubungkan dengan menggunakan baut dan pin. Tiap sisi dari masing-masing ujung setengah lingkaran girth-gear dikunci oleh 3 buah baut dan satu pin. Dengan demikian, seluruh perangkat pengunci girth-gear ini terdiri dari 12 buah baut dengan 4 buah pin. Jika salah satu dari baut/pin dari sistem pengunci ini mengalami kegagalan maka fungsi girth-gear terganggu dan putaran/operasi kiln harus dihentikan untuk proses penggantian baut/pin. Penghentian operasi kiln akan mengganggu proses produksi semen dan ini tentu saja sangat merugikan perusahaan, penurunan kapasitas produksi, peningkatan biaya pemeliharaan, dan kesulitan koordinasi.

Baut pengunci girth-gear kiln sering mengalami kegagalan/patah. Untuk mengetahui penyebab kegagalan tersebut maka diperlukan analisis

tegangan dan analisis metalurgi terhadap perangkat baut pengunci girth-gear kiln ini. Analisis tegangan diperlukan terutama untuk mengetahui jenis dan kondisi tegangan yang bekerja serta besar tegangan yang dialami oleh baut/pin. Sementara, analisis metalurgi diperlukan untuk mengetahui penyebab patahnya baut/pin, dan selanjutnya dapat menentukan material yang lebih cocok untuk kondisi kerja girth-gear kiln.

2. GAMBARAN UMUM KILN

Kiln pada pabrik semen didukung oleh komponen-komponen penunjang sbb :

- a. Tyre / Live Ring
Tyre atau Live Ring merupakan alat yang dipasang pada shell kiln dan berputar bersama dengan kiln. Tyre atau Live Ring
- b. Supporting Roller
Supporting roller berfungsi untuk menumpu dan sebagai penahan kiln, selain itu supporting roller juga berfungsi untuk mempermudah kiln berputar.
- c. Trust Roller
Berfungsi untuk menahan sekaligus untuk mendorong kiln yang sedang berputar tidak turun dari posisinya
- d. Fan
Kiln merupakan tempat terjadinya pembakaran Raw Mix. Pembakaran dilakukan dalam temperatur tinggi yang berkisar antara 13000 – 15000C. Oleh sebab itu dipasanglah fan untuk menarik gas panas yang bercampur dengan material.
- e. Burner
Burner merupakan salah satu sistem pembakaran yang dilakukan didalam kiln. Cara kerjanya adalah dengan sistem penyemprotan

batu bara berbentuk tepung dan disemprotkan menggunakan rotari blower ke ruang pembakaran.

f. Grate Cooler

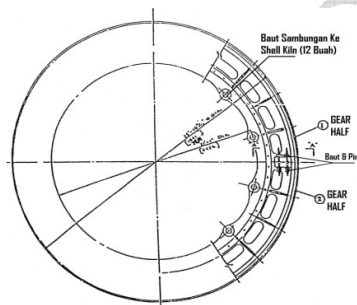
Merupakan tempat pendinginan klinker yang keluar dari kiln dan sekaligus sebagai alat transpor klinker menuju ke rooller crusher.

g. Girth-gear

Merupakan penggerak utama kiln. Cara kerjanya adalah dengan menggunakan sistem roda gigi . Roda gigi tersebut dipasang pada shell kiln dan berfungsi sebagai penggerak dari kiln. Arus listrik yang memutar motor penggerak diteruskan ke transmisi roda gigi dan terus memutar roda gigi pinion yang berhubungan langsung dengan girth-gear kiln.



Gambar -1. Girth-gear Kiln



Gambar -2 Girth-gear kiln dan baut pengunci

3 MODUS KEGAGALAN LOGAM

a. Distorsi

Kegagalan jenis ini akan terjadi jika komponen atau struktur tersebut tidak mampu lagi memikul beban yang seharusnya, tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya atau mengganggu operasi komponen lainnya. Jenis-jenis distorsi adalah :

- Distorsi ukuran
- Distorsi bentuk

Penyebab utama kegagalan ini adalah pembebanan yang berlebihan (overloading) yang disebabkan oleh :

- Spesifikasi material yang tidak sesuai
- Kegagalan dalam memenuhi spesifikasi

b. Patah Ulet

Permukaan patahannya memiliki deformasi plastis yang cukup besar. Patah ulet memiliki ciri-ciri antara lain permukaan patah yang rata, bibir geser

(shear lip) yang membentuk sudut 45o terhadap permukaan patah, dan selalu diawali dengan proses pengecilan penampang setempat (necking) bila mendapat beban tarik. Penyebab kegagalan komponen dengan modus patah ulet murni adalah adanya beban yang berlebihan (overloading), kesalahan dalam proses perlakuan panas (heat treatment), kesalahan pembuatan, cacat material, pengaruh lingkungan dan operasi.

c. Patah Getas

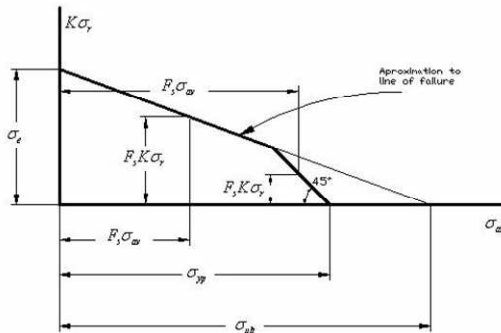
Patah getas perambatan retaknya sangat cepat, tidak terjadi deformasi plastis, permukaan patahannya rata, dan tidak didahului dengan pengecilan penampang setempat. Penyebab patah getas antara lain:

- Cacat yang sudah ada dalam material
- Cacat yang timbul karena proses pembuatan
- Cacat yang terjadi karena kondisi operasi

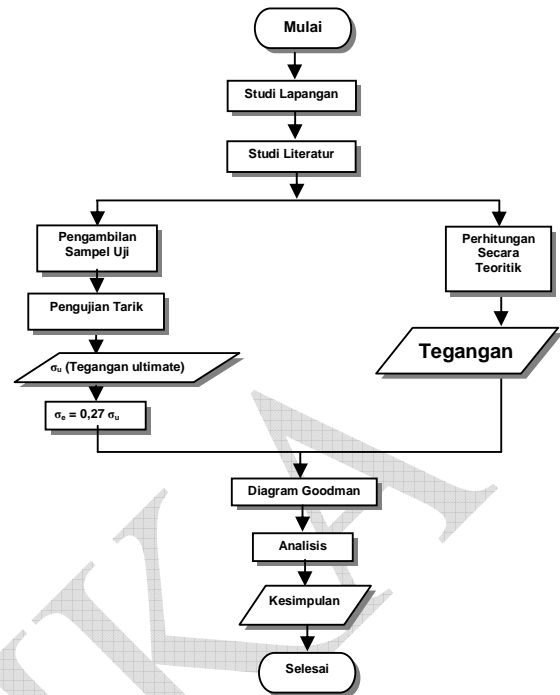
d. Patah Lelah

Patah lelah pada elemen mesin yang dibuat dari baja adalah patah yang terjadi secara tiba-tiba setelah elemen mesin tersebut beroperasi untuk beberapa waktu. Istilah tiba-tiba perlu segera diberi keterangan tambahan, sebab sumber patah lelah yang berupa retak mikro atau micro crack yang tidak dapat terlihat oleh mata, sebenarnya terjadi lama sebelum patah lelah terjadi. Berbeda dengan patah akibat dilampauinya tegangan tarik yang menunjukkan patah ulet, yaitu terjadinya deformasi plastis yang cukup besar disekitar potongan patah, maka pada patah lelah tidak terjadi deformasi plastis yang cukup besar tersebut sehingga kelihatan seperti patah getas atau brittle fracture seperti patahnya bahan getas. Padahal elemen mesin dibuat dari baja yang ulet atau ductile dan bukan dibuat dari bahan getas. Pada patah lelah dengan jelas terlihat adanya dua daerah yang dinamakan daerah patah lelah dan daerah patah tiba-tiba. Daerah patah lelah pada umumnya rata dan halus hampir seperti jaringan Pada daerah patah lelah tidak terjadi deformasi plastis. Jika diamati dengan teliti, maka titik asal patah lelah yang berupa retak mikro didaerah konsentrasi tegangan biasanya dapat dilihat dengan jelas. Patah pada daerah tiba-tiba adalah akibat dilampauinya tegangan batas tarik, yaitu karena luas potongan yang belum retak tinggal kecil saja sehingga tegangan yang terjadi akibat beban melampaui tegangan batas tarik. Pada daerah tiba-tiba terjadi akibat adanya deformasi plastis seperti pada patah ulet. Dari beberapa penelitian dan pengamatan patah lelah, dapat diambil kesimpulan bahwa patah lelah disebabkan deformasi plastis yang diulang-ulang. Deformasi plastis tersebut tidak perlu berupa deformasi plastis makro yang tampak oleh mata, tetapi deformasi plastis mikro yang terjadi pada retak mikro yang sekaligus menjadi konsentrasi tegangan dan menjadi titik asal patah lelah.

Analisis kegagalan karena beban bolak-balik suatu material dapat dilakukan dengan menggunakan diagram Goodman (Gambar 3). Diagram Goodman merupakan diagram yang menggambarkan tegangan yang terjadi pada elemen yang mengalami beban dinamik seperti beban berulang. Diagram ini menghubungkan antara tegangan ultimate, tegangan luluh (yield) dan tegangan lelah (endurance limit) dengan tegangan yang bekerja (working stress) sehingga dapat diketahui apakah material/element gagal atau tidak.



Gambar -3 Diagram Goodman



Gambar -4 Diagram Alir Penelitian

4. METODOLOGI

4.1. Data Penelitian

Data-data untuk penelitian adalah sbb :
Kiln

- Putaran Kiln (n) : 3 rpm
- Daya motor penggerak : 2 x 600 kW
- Kecepatan tangensial : 0,4 m/s
- Girth-gear kiln
- Jumlah gigi girth-gear : 228 buah
- Sudut kemiringan gigi : 9°30'
- Diameter pitch girth-gear : 2491,8 mm
- Baut Pengunci girth-gear
- Diameter baut pengunci : 48 mm

4.2 Diagram Alir Penelitian

Skema lengkap penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.

4.3 PerhitunganTegangan pada Baut

Pada baut akan terjadi dua bentuk gaya yaitu gaya langsung (direct force) dan gaya momen (moment force). Untuk mendapatkan besar tegangan yang bekerja pada baut maka terlebih dahulu dihitung gaya resultan yang merupakan jumlah dari direct force dan moment force.

Perhitungan Direct Force

Direct Force pada baut adalah gaya luar yang bekerja dibagi dengan jumlah baut yang menahan beban.

$$F_d = \frac{F}{N} \tag{1}$$

F adalah gaya luar pada sistem baut
N jumlah baut yang menahan beban

Perhitungan Momen Force

Momen Force merupakan gaya akibat adanya momen yang dipengaruhi oleh jarak tempat gaya bekerja terhadap titik pusat benda (lengan moment). Momen force dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$F_i = C . r_i \tag{2}$$

Dimana : Fi = moment force baut ke i
ri = jarak baut ke i ke pusat massa baut
C = konstanta proporsional

Moment luar yang bekerja pada sistem baut akan sama dengan jumlah dari moment force seluruh baut :

$$F . e = \sum F_i . r_i \tag{3}$$

$$F \cdot e = C(r_1^2 + r_2^2 + \dots) \quad (4)$$

Dimana : F adalah gaya luar yang bekerja
e adalah lengan moment gaya luar ke pusat massa baut

Perhitungan Resultan Gaya

Resultan gaya dihitung pada 5 kondisi pembebanan berdasarkan pada posisi titik tangkap gaya tekan roda gigi penggerak kiln terhadap baut pengunci kiln yang akan ditentukan tegangannya yaitu 1800, 1350, 900, 450 dan 00. Resultan gaya pada baut pengunci merupakan jumlah dari direct force dan moment force yang terjadi pada baut pengunci girth-kiln.

Gaya Tekan Roda Gigi Penggerak Kiln

Gaya tekan roda gigi atau gaya tangensial Ft dihitung dengan menggunakan rumus :

$$F_t = \frac{Daya}{v} \quad (5)$$

Dimana v adalah kecepatan tangensial dari girth-gear yang dihitung dengan persamaan :

$$v = \frac{\pi d n}{60} \quad (6)$$

d merupakan diameter pitch dari girth-gear dihitung menggunakan rumus :

$$d = \frac{N}{P_{dn} \cos \psi} \quad (7)$$

Dimana N merupakan jumlah gigi dari girth-gear, ψ sudut helik roda gigi miring, dan Pdn diameter pitch normal. Diameter pitch normal dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_{dn} = \frac{\pi}{P_n} = \frac{\pi}{P \cdot \cos \psi} \quad (8)$$

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Perhitungan Gaya dan Tegangan Baut

Gaya Tangensial Roda gigi

$$P_n = P \cos \psi = 33,87$$

$$P_{dn} = \frac{\pi}{P_n}$$

$$= \frac{\pi}{33,87} = 0,0928$$

$$d = \frac{N}{P_{dn} \cos \psi} = \frac{228}{0,0928 \cos 9^{\circ}30'} = 2491,8 \text{ mm}$$

$$v = \frac{\pi d n}{60} = \frac{\pi \times 2491,8 \times 3}{60} = 0,4 \text{ m/s}$$

$$F_t = \frac{Daya}{v} = \frac{1200 \text{ kW}}{0,4 \text{ m/s}} = 3000 \text{ kN}$$

Direct force (Fd)

$$F_d = \frac{F_t}{\text{Jumlah Baut}} = \frac{3000 \text{ kN}}{14} = 214 \text{ kN}$$

Perhitungan Koefisien Momen C

$$F_t \cdot \text{Jarak} = c \{ (2r_1^2 + 2r_2^2 + 2r_3^2) + 4r_6^2 + 4r_7^2 \}$$

$$= c \{ 3(2r_1^2) + 4r_6^2 + 4r_7^2 \}$$

$$3000 \cdot 3946 = c \{ 3(2 \cdot 3213^2) + (4 \cdot 3540^2) + (4 \cdot 3715^2) \}$$

$$11838000 \text{ kNmm} = c \{ (61940214) + (50126400) + (55204900) \}$$

$$11838000 \text{ kNmm} = c \{ 167271514 \text{ mm}^2 \}$$

$$c = \frac{11838000 \text{ kNmm}}{167271514 \text{ mm}^2}$$

$$c = 0,07 \text{ kN/mm}$$

Momen Force F

Momen force dihitung untuk menentukan resultan gaya yang bekerja pada baut pengunci kiln.

$$F = c \cdot \text{Jarak Terjauh} = 0,07 \text{ kN/mm} \cdot 3715 \text{ mm} = 260 \text{ kN}$$

Resultan Gaya dan Tegangan pada baut

Kondisi I

$$F_R = F - F_b = 260 - 214 = 46 \text{ kN}$$

Tegangan pada baut :

$$\sigma = \frac{F_R}{A_{baut}} = \frac{46 \text{ kN}}{0,0018 \text{ m}^2} = 25555 \text{ kN/m}^2 = 25,5 \text{ MPa}$$

Kondisi II

$$F_{by} = F_b \cdot \sin 45^{\circ} = 214 \cdot 0,7071068 = 151 \text{ kN}$$

$$F_{bx} = F_b \cdot \cos 45^{\circ} = 214 \cdot 0,7071068 = 151 \text{ kN}$$

$$F_R = \sqrt{(F - F_{by})^2 + (F_{bx})^2} = \sqrt{(260 - 151)^2 + (151)^2} = 186 \text{ kN}$$

Tegangan pada baut :

$$\sigma = \frac{F_R}{A_{baut}} = \frac{186 \text{ kN}}{0,0018 \text{ m}^2} = 103333 \text{ kN/m}^2 = 103 \text{ MPa}$$

Kondisi III

$$F_R = \sqrt{F^2 + F_b^2} = \sqrt{(260)^2 + (214)^2} = 336 \text{ kN}$$

Tegangan pada baut :

$$\sigma = \frac{F_R}{A_{baut}} = \frac{336 \text{ kN}}{0,0018 \text{ m}^2} = 186666 \text{ kN/m}^2 = 186,6 \text{ MPa}$$

Kondisi IV

$$F_{by} = F_b \cdot \sin 45^\circ = 214 \cdot 0,7071068 = 151 \text{ kN}$$

$$F_{bx} = F_b \cdot \cos 45^\circ = 214 \cdot 0,7071068 = 151 \text{ kN}$$

$$F_R = \sqrt{(F + F_{by})^2 + (F_{bx})^2} = \sqrt{(260 + 151)^2 + (151)^2} = 437 \text{ kN}$$

Tegangan pada baut :

$$\sigma = \frac{F_R}{A_{baut}} = \frac{437 \text{ kN}}{0,0018 \text{ m}^2} = 242777 \text{ kN/m}^2 = 242,7 \text{ MPa}$$

Kondisi V

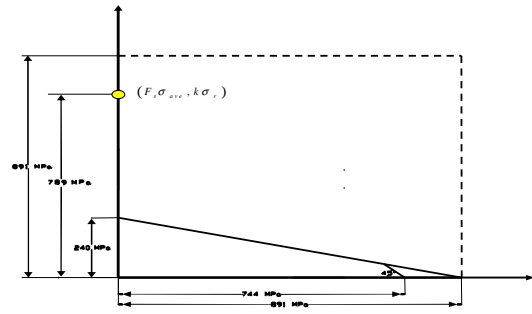
$$F_R = F + F_b = 260 + 214 = 474 \text{ kN}$$

Tegangan pada baut :

$$\sigma = \frac{F_R}{A_{baut}} = \frac{474 \text{ kN}}{0,0018 \text{ m}^2} = 263333 \text{ kN/m}^2 = 263 \text{ MPa}$$

5.2 Diagram Goodman

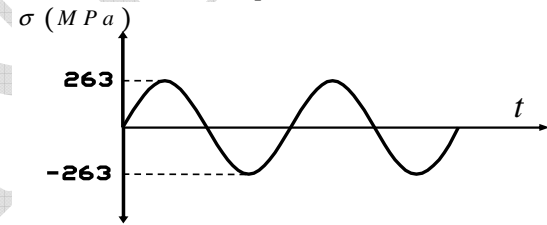
Untuk menggambarkan diagram Goodman diperlukan faktor konsentrasi tegangan baut (K) dan faktor keamanan Fs. Dari pengujian kekerasan didapatkan kekerasan rata-rata baut sebesar 29,7 HRC atau 284 BHN. Dengan faktor konsentrasi tegangan ulir baut adalah 3. Diagram Goodman dapat digambarkan seperti dibawah ini



Gambar -5 Diagram Goodman Hasil Perhitungan

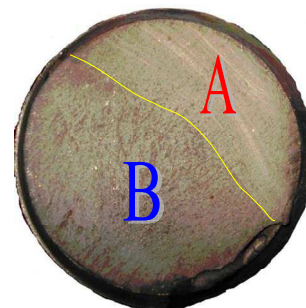
5.3 Analisa dan Pembahasan

Pada kondisi V gaya tangensial yang bekerja pada girth-gear terletak tepat di ujung dekat baut pengunci dan tegak lurus dengan sambungan dua bagian main gear. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan tegangan terbesar pada saat beban berada pada kondisi V yaitu sebesar 263 MPa, ini berarti baut pada bagian kanan gambar mengalami tegangan tekan sebesar 263 MPa dan disaat yang sama baut pada bagian kiri mengalami tegangan tarik sebesar 263 MPa juga. Dengan demikian baut mengalami tegangan bolak-balik dengan tegangan maksimum 263 MPa, seperti Gambar 6.



Gambar -6 Tegangan Bolak-balik yang bekerja pada Baut

Berdasarkan diagram Goodman dapat dilihat bahwa tegangan yang bekerja pada baut berada diluar garis failure line, dengan demikian baut mengalami kegagalan leleh akibat beban bolak balik.



Gambar -7 Bentuk permukaan patah baut

Dari Gambar 6 dapat dilihat bentuk permukaan patah dari baut pengunci girth-gear kiln, bagian A adalah bentuk patahan akibat beban bolak-balik yaitu patah leleh dan pada bagian B merupakan patah getas. Patah getas ini terjadi karena baut tidak lagi mampu menahan beban yang bekerja setelah

terjadinya awal patahan (patah lelah). Garis berwarna kuning merupakan batas antara patah lelah dengan patah getas. Semakin besar daerah B berarti material yang digunakan adalah material yang semakin getas dan semakin tidak mampu menahan beban bolak-balik yang bekerja. Dan begitu juga sebaliknya, semakin besar daerah A maka material tersebut akan semakin mampu untuk menahan beban bolak-balik yang bekerja.

6. KESIMPULAN

Dari penelitian dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Dari hasil perhitungan teoritik, tegangan terbesar yang bekerja pada baut adalah pada kondisi pembebanan V yaitu sebesar 263 MPa, dimana beban yang bekerja adalah beban bolak balik tarik tekan dan tepat berada dekat dengan sambungan girth-gear kiln.

Tegangan hasil perhitungan jauh lebih kecil dari tegangan yield bahan, karena itu tidak mungkin terjadi gagal statik pada baut.

Dari analisis dinamik dengan diagram Godman dapat dilihat bahwa kegagalan yang terjadi adalah karena lelah (patah fatigue) karena tegangan yang bekerja berada diluar grafik, ini sesuai dengan bentuk patahan yang terjadi pada baut.

DAFTAR PUSTAKA

- Gasni. Dedison, "Kriteria Patah Lelah Untuk Beban Dinamik", Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andalas, Padang, 2002.
- J.A. Collins, "Failure of Materials in Mechanical Design", John Wiley & Sons, The Ohio State University, 1981.
- Juvinnall, Robert, C, and Kurt, M. Marshek, Fundamentals of Machine Component Design second Edition, John Wiley & Sons, Inc. Canada. 1991
- Niemann,G., "Elemen Mesin", Jilid 1, Edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1999.
- Spotts, M.F., "Design of Machine Elements", 6th ed, Prentice – Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1985.
- Sularso., dan Suga, Kiyokatsu., "Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin", Edisi kedelapan, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1994.