

**ARTIKEL PENELITIAN**  
**PENELITIAN DOSEN MUDA**  
**TAHUN 2007**



Judul Penelitian : **REDUKSI TEGANGAN LELAH PADA POROS  
BERALUR AKIBAT BEBAN BENDING ROTASI  
BOLAK BALIK**

Oleh :

Dedison Gasni., M.T (Ketua)  
Ismet Hari Mulyadi, M.Sc. (Anggota)

Dibiayai oleh : Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian kepada  
Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi

Dengan Nomor Kontrak : 001/SP2H/PP/DP2M/III/2007 Tanggal 29 Maret 2007

Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Andalas – Padang  
Oktober, 2007

# Reduksi Tegangan Lelah Pada Poros Beralur Akibat Beban Bending Rotasi Bolak Balik

Dedison Gasni<sup>1</sup>, Ismet Hari Mulyadi<sup>2</sup>

1. Laboratorium Konstruksi Mesin, 2. Laboratorium Inti Teknik Produksi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas

## Abstrak

*Poros merupakan elemen mesin yang banyak digunakan untuk meneruskan daya dan putaran. Pada umumnya konstruksi dari poros yang digunakan mengalami perubahan dimensi dengan tiba-tiba. Dalam perancangan, perubahan bentuk geometri seperti itu tidak dapat dihindari karena mempunyai tujuan tertentu. Perubahan geometri yang terjadi akan menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan yang tinggi, sehingga umur atau kekuatan poros akan berkurang. Pada penelitian ini akan dilakukan reduksi tegangan lelah pada poros dengan menambah berbagai macam bentuk alur baru pada poros dengan memvariasikan jarak alur baru tersebut dengan alur utama. Penelitian ini dilakukan secara numerik dan secara eksperimental dengan menggunakan mesin uji lelah jenis bending rotasi bolak-balik. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa tegangan lelah yang bekerja pada poros beralur dapat direduksi dengan cara penambahan alur baru pada poros. Besarnya penurunan tegangan lelah yang bekerja pada alur utama poros akan semakin besar jika alur baru yang ditambahkan searah posisi tumpuan dan 2 buah alur baru, sedangkan penambahan alur baru searah beban terjadi peningkatan tegangan lelah. Dari ketiga cara yang digunakan didapatkan cara penambahan 1 alur baru searah posisi tumpuan dan 2 buah alur baru searah tumpuan dan searah beban adalah yang terbaik, di mana jarak optimum pemasangan alur baru pada objek yang dianalisis adalah sebesar  $2r$  (2 mm), dengan penuruna tegangan lelah sebesar 3,4%.*

*Kata kunci : poros beralur, tegangan lelah, uji lelah.*

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Poros merupakan elemen mesin yang banyak digunakan untuk meneruskan daya dan putaran. Pada umumnya konstruksi dari poros yang digunakan mengalami perubahan dimensi dengan tiba-tiba (poros bertingkat), mempunyai alur untuk snap-ring dan O-ring, dan mempunyai alur pasak dan lubang untuk memasang elemen mesin yang lain. Dalam perancangan, perubahan bentuk geometri seperti itu tidak dapat dihindari karena mempunyai tujuan untuk pemasangan bantalan, tempat saluran pelumas, pemasangan roda gigi dan lain-lain.

Perubahan geometri yang terjadi akan menyebabkan terjadinya pemusatan tegangan (konsentrasi tegangan) yang akan mengakibatkan tegangan pada perubahan geometri tersebut akan tinggi, sehingga umur atau kekuatan poros akan berkurang. Kegagalan elemen mesin akibat beban dinamik dan statik pada umumnya terjadi pada titik-titik dimana terdapat konsentrasi tegangan.

Pada penelitian ini akan dilakukan reduksi tegangan lelah pada poros yang mengalami perubahan geometri, seperti adanya alur, yang mengalami pembebanan bending rotasi bolak-balik. Pada daerah dimana terjadi perubahan geometri akan

terjadi konsentrasi tegangan yang sangat besar. Untuk menghindari hal tersebut perlu usaha untuk mengurangi besarnya konsentrasi tegangan pada daerah dimana terjadi perubahan geometri tersebut dengan cara penambahan geometri baru seperti alur. Dengan adanya alur baru ini diharapkan konsentrasi tegangan akan terbagi, sehingga konsentrasi tegangan pada alur utama akan turun. Pada penelitian ini akan dilakukan usaha untuk mengurangi (mereduksi) tegangan lelah pada poros beralur akibat beban dinamik, berupa beban bending bolak-balik. Untuk mereduksi tegangan lelah pada poros tersebut dilakukan dengan menambah berbagai macam bentuk alur baru pada poros dengan memvariasikan jarak alur baru tersebut dengan alur utama.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pendahuluan.

Sebagian besar komponen mesin gagal akibat beban dinamik, yaitu akibat fenomena patah lelah. Oleh karena itu komponen mesin yang menerima beban yang dapat menimbulkan patah lelah, berupa tegangan yang bekerja berfluktuasi secara periodik, haruslah dirancang dengan menggunakan kriteria patah lelah agar komponen tersebut dalam menjalankan fungsinya dapat terhindar dari kegagalan patah lelah. Kegagalan elemen mesin tersebut terjadi pada titik-titik dimana terdapat konsentrasi tegangan, dimana sumber dari konsentrasi tegangan pada elemen mesin, dapat berupa takik, alur, lubang, ulir, pasak dan lain-lain.

Elemen mesin yang mengalami tegangan dinamik akan menimbulkan kegagalan berupa patah lelah. Beban dinamik adalah beban yang arah atau besarnya berubah dengan waktu. Berdasarkan cara beban berubah terhadap waktu dapat dibedakan : Beban kejut atau *impact*, Beban periodik dan Beban dinamik sembarang. Beban dinamik yang bekerja pada elemen mesin akan menimbulkan tegangan dinamik pada elemen mesin tersebut. Tegangan dinamik yang dapat menyebabkan patah lelah adalah tegangan yang berubah secara periodik, termasuk tegangan akibat beban kejut tersebut diulang-ulang secara periodik, dalam hal ini beban kejut tersebut sudah tergolong menjadi beban periodik. Tegangan yang berubah secara periodik disebut tegangan lelah, karena dapat menyebabkan patah lelah. Beban dinamik sampai batas tertentu dapat di idealkan menjadi beban berpola periodik yang dapat pula menyebabkan patah lelah.

### 2.2 Diagram Tegangan – Jumlah Putaran (Kurva S - N)

Kurva  $S - N$  merupakan kurva eksperimental hasil percobaan uji lelah berdasarkan mesin uji lelah R.R. Moore, dengan memberikan beban yang berbeda-beda untuk memberikan tegangan yang berbeda pada daerah di atas dan tepat di bawah batas kekuatan lelah<sup>[1,2]</sup>. Untuk membahas mengenai kurva tersebut, terlebih dahulu akan dibahas mengenai patah lelah dan uji lelah.

#### 2.2.1 Patah Lelah

Peristiwa atau fenomena patah lelah adalah peristiwa kompleks yang mekanismenya sampai sekarang belum diketahui secara pasti. Ada beberapa pendapat yang mencoba

menerangkan mekanisme patah lelah, tetapi kenyataannya belum tercapai satu pendapat yang dapat diterima secara universal, ini menandakan bahwa mekanisme patah lelah baru diketahui secara parsial<sup>[1]</sup>.

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<sup>[1,3]</sup>.

Pada potongan patah lelah dengan jelas terlihat adanya dua daerah yang masing-masing dinamakan daerah patah lelah dan daerah patah tiba-tiba. Daerah patah lelah pada umumnya rata dan halus hampir seperti jaringan beludru akibat tergosoknya permukaan patah dengan permukaan patah pasangannya selama berlangsungnya perambatan retak mulai dari retak mikro sampai terjadi patah tiba-tiba. Perambatan retak tersebut berlangsung dalam waktu yang relatif lama. 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<sup>[1]</sup>.

Demikian pula arah perambatan retak yang berupa garis-garis yang konsentrik dengan titik asal patah lelah. 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<sup>[1]</sup>.

Dari sebahagian penelitian dan pengamatan patah lelah, dapat diambil kesimpulan bahwa patah lelah disebabkan deformasi plastis yang diulang-ulang. Perlu segera dicatat disini bahwa 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<sup>[1]</sup>.

### **2.2.2 Uji Lelah**

Antara tahun 1862 dan 1869, A. Wohler seorang insinyur kereta api di Jerman membuat mesin uji lelah yang dapat memberikan beban yang diulang-ulang.

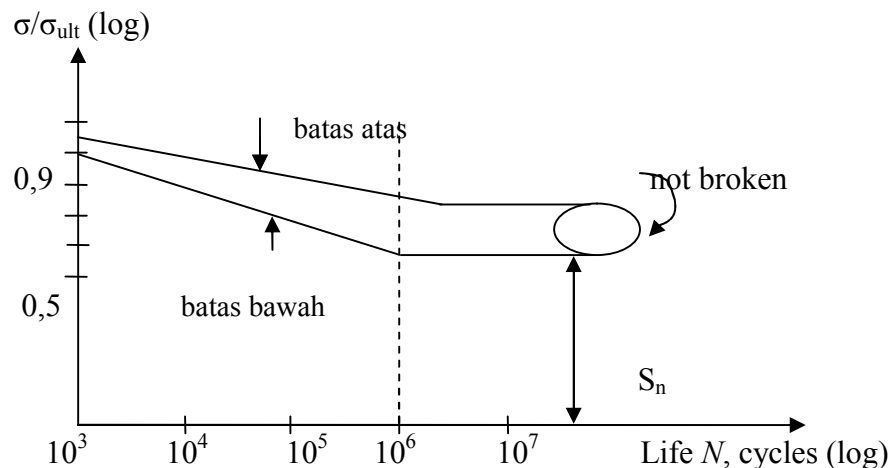
Wohler menemukan fakta-fakta penting tentang fenomena patah lelah<sup>[1,2]</sup>, yaitu :

1. Faktor utama yang mempengaruhi patah lelah adalah sejumlah pengulangan beban yang terjadi selama pengujian dan bukan waktu pengujian.
2. Besi dan baja dapat menahan beban yang diulang-ulang beberapa kalipun tanpa mengalami patah lelah, asal tegangan yang terjadi dalam besi dan baja tersebut tidak melebihi suatu harga tertentu.

Pada spesimen uji lelah Wohler, spesimen berupa batang kantilever yang berputar yang dibebani dengan beban konstan pada ujung bebasnya. Tegangan bolak-balik terjadi pada potongan yang dijepit, karena itu pada potongan itulah diharapkan terjadi patah lelah.

#### 2.2.4 Kurva $S - N$ untuk bahan baja (*wrought steel*)

Spesimen baja menerima perlakuan panas yang baik yang menghasilkan keadaan batas tegangan sisa dan menghasilkan struktur mikro berupa martensit atau tempered martensit. Hasil pengujian uji lelah spesimen standar yang terbuat dari berbagai baja (*wrought steel*) dengan tegangan kekuatan tarik ( $\sigma_{ult}$ )  $\leq 200$  ksi pada mesin uji lelah R.R. Moore (seperti gambar 2.1) digambarkan pada sumbu log-log. Sumbu vertikal mencantumkan tegangan yang diterima spesimen yang telah dinormalkan, yaitu yang telah dibagi dengan tegangan/kekuatan tarik ( $\sigma_{ult}$ ), sehingga angka-angka pada sumbu vertical merupakan besaran tak berdimensi seperti terlihat pada gambar 2.1 [1,2].



Gambar 2.1. Garis batas atas dan batas bawah titik-titik patah lelah [1]

Titik-titik pada gambar 2.1 di atas menunjukkan tegangan yang diterima spesimen yang telah dinormalkan dan absisnya menunjukkan harga jumlah putaran pada saat spesimen tersebut patah atau umur spesimen, kecuali titik-titik dalam lingkaran yang menunjukkan spesimen tidak patah setelah jumlah putaran mencapai harga  $10^7$  cycles. Titik-titik tersebut tertabur dalam daerah yang cukup luas yang dibatasi oleh dua buah garis yang membagi kurva  $S - N$  menjadi tiga daerah [1,2], yaitu :

1. Daerah di atas garis batas merupakan daerah patah lelah. Artinya semua titik pada daerah tersebut menyatakan spesimen yang menerima tegangan seperti yang ditunjukkan oleh absisnya sudah patah.
2. Daerah diantara batas atas dan batas bawah menyatakan daerah yang titik-titiknya menggambarkan spesimen yang mungkin sudah patah tetapi mungkin juga belum.
3. Daerah di bawah garis batas bawah menggambarkan keadaan spesimen yang belum patah, artinya sebuah titik pada daerah tersebut menggambarkan spesimen yang menerima tegangan seperti ditunjukkan oleh ordinatnya pada jumlah putaran seperti ditunjukkan oleh absisnya yang belum patah.

Untuk spesimen standar baja, kekuatan lelah telah diketahui sebesar  $0,5 \times \sigma_{ult}$ . untuk selanjutnya hanya akan dipakai garis batas bawah saja yang diberi nama garis batas lelah. Cara membuat kurva  $S - N$  pada susunan sumbu orthogonal dengan skala log-log<sup>[1,2]</sup> adalah sebagai berikut :

1. Ditarik garis yang menghubungkan dua titik, masing-masing dengan koordinat  $(10^3, 0.9)$  dan  $(10^6, 0.5)$ .
2. Ditarik garis horizontal melalui titik  $(10^6, 0.5)$  ke kanan.

### **2.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kekuatan Lelah**

Pada uji lelah balok lentur dengan spesimen standar R.R. Moore hanya menyinggung untuk kasus khusus untuk beban yang mengalami bending bolak-balik dengan spesimen tertentu. Untuk modifikasi kurva  $S - N$  terhadap jenis beban (bending, aksial dan torsi), ukuran dan permukaan spesimen. Pada hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan lelah elemen mesin untuk  $N = 10^6$  cycles dapat dinyatakan dengan<sup>[1]</sup>

$$\sigma_n = C_L \cdot C_D \cdot C_S \cdot \sigma_n' \quad (2-1)$$

dimana :

$\sigma_n$  = kekuatan lelah elemen mesin

$\sigma_n'$  = kekuatan lelah spesimen standar (R.R Moore),  $\sigma_n' = 0,5 \cdot \sigma_{ult}$

$C_L$  = faktor beban

$C_D$  = faktor ukuran

$C_S$  = faktor kondisi permukaan

Harga semua faktor di atas diperoleh secara empirik.

### **2.4 Konsentrasi Tegangan**

Di dalam membicarakan kelelahan elemen mesin, konsentrasi tegangan dianggap sebagai hal yang sangat penting karena sebenarnya seluruh kegagalan lelah terjadi pada titik dimana terdapat konsentrasi tegangan yang tinggi pada elemen mesin. Tempat dimana terjadi konsentrasi tegangan pada elemen mesin seperti alur, takik, lubang, ulir, alur pasak, dan sebagainya. Artinya tegangan yang terjadi pada potongan yang melalui tempat konsentrasi tegangan, mempunyai harga yang melebihi harga tegangan nominal<sup>[1,3]</sup>.

Besarnya tegangan tarik maksimum dinyatakan dengan :

$$\sigma_{maks} = K_t \cdot \sigma_{nom} \quad (2-2)$$

dimana :

$\sigma_{nom}$  = tegangan yang bekerja tanpa konsentrasi tegangan.

$K_t$  = faktor konsentrasi tegangan teoritik

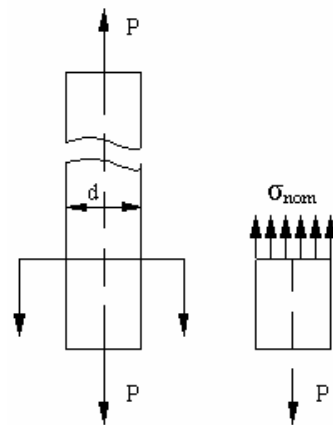
## 2.5 Faktor Konsentrasi Tegangan Lelah, $K_f$

Faktor konsentrasi tegangan lelah akan mempengaruhi kekuatan lelah dari spesimen, besarnya faktor konsentrasi tegangan lelah tersebut kecil dari faktor konsentrasi tegangan teoritik,  $K_t$ . Faktor konsentrasi tegangan lelah dapat didefinisikan sebagai rasio antara kekuatan lelah spesimen tak bertakik dan kekuatan spesimen bertakik [1,3].

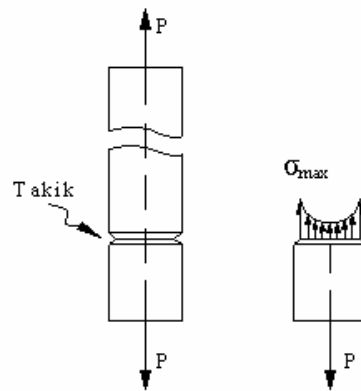
$$K_f = \frac{\text{Kekuatan lelah spesimen tak bertakik}}{\text{Kekuatan lelah bertakik}} \quad (2-3)$$

## 2.6 Konsentrasi Tegangan

Konsentrasi tegangan dianggap hal yang sangat penting karena seluruh kegagalan terjadi pada titik di mana terdapat konsentrasi tegangan yang sangat tinggi pada elemen mesin. Tempat-tempat terjadinya konsentrasi tegangan pada elemen mesin seperti alur, takik, lubang, ulir, dan sebagainya. Artinya tegangan yang terjadi pada potongan yang melalui tempat konsentrasi tegangan, mempunyai harga yang melebihi harga tegangan nominalnya.



**Gambar 2.2** Batang yang mengalami beban tarik [2]



**Gambar 2.3** Batang bertakik diberi beban tarik [2]

Disini diberikan contoh tegangan maksimum yang terjadi pada potongan tegak lurus sumbu tidak bertakik dan yang melalui takik yang terdapat pada sebuah batang yang mengalami beban tarik seperti gambar 2.2 dan 2.3 di atas.

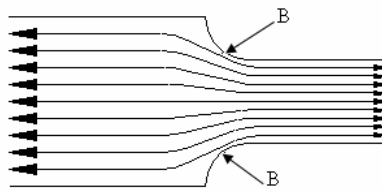
Besarnya tegangan tarik maksimum pada daerah bertakik dinyatakan dengan persamaan 2.4.

$$\sigma_{maks} = K_t \cdot \sigma_{nom} \quad (2-4)$$

Di mana  $K_t$  adalah faktor konsentrasi tegangan teoritik. Ini berarti pada daerah bertakik tegangan yang bekerja lebih besar dari tegangan jika tanpa ada takikan.

### 2.6.1 Peningkatan Konsentrasi Tegangan

Dari gambar diagram konsentrasi tegangan dapat dilihat bahwa perubahan konsentrasi tegangan yang terjadi disebabkan oleh perubahan geometri dan dimensi dari material. Perubahan tiba-tiba dari geometri ini dapat meningkatkan harga tegangan yang lebih besar dari yang seharusnya (tegangan nominalnya). Sebagai contoh, tingkat tegangan tarik dua permukaan seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Konsentrasi tegangan akibat perubahan penampang<sup>[1]</sup>

Di sekitar masing-masing ujung batang, distribusi gaya dalamnya adalah seragam. Tegangan nominal pada bagian kanan dapat dicari dengan membagi total beban dengan luas daerah penampang terkecil, tegangan pada bagian kiri dapat dicari dengan membagi total beban dengan luas daerah yang besar. Sedangkan pada bagian tempat terjadinya perubahan penampang, distribusi gayanya berubah. Pada bagian ini beban tidak merata pada masing-masing titik pada penampang, tapi titik sekitar point B pada gambar 2.4 tegangannya lebih tinggi dari tegangan rata-rata. Keadaan tegangan pada bagian ini lebih komplisit dan persamaan dasar  $P/A$  tidak lagi sesuai. Tegangan maksimum terjadi pada beberapa titik pada *fillet* seperti pada titik B dan searah paralel pada batas titik.

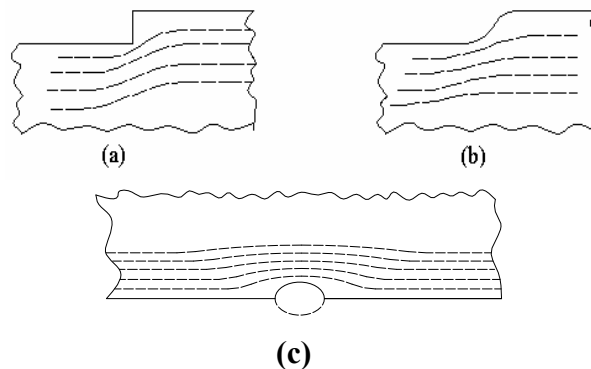
Harga maksimum dari tegangan pada beberapa contoh di atas didapat dengan mengalikan tegangan nominal yang diberikan persamaan dasar dengan faktor konsentrasi tegangan  $K_t$ , di mana

$$K_t = \frac{\text{Tegangan aktual maksimum pada fillet}}{\text{Tegangan nominal pada penampang terkecil}} \quad (2-5)$$

### 2.6.2 Penurunan Konsentrasi Tegangan

Fenomena peningkatan konsentrasi tegangan akibat perubahan geometri secara tiba-tiba ini dapat dilihat pada gambar 2.5(a). Garis putus-putus menggambarkan aliran konsentrasi tegangan. Dari gambar tersebut terlihat bahwa tegangan terkonsentrasi pada daerah sekitar perubahan penampang. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi tegangan yang bekerja yaitu :<sup>[1]</sup>

1. Merubah bentuk geometri dari alur itu sendiri.  
Misalnya bentuk alur yang semula berbentuk lingkaran menjadi bentuk ellips, seperti yang terlihat pada gambar 2.5(c) dan bentuk siku menjadi bentuk *fillet*, seperti yang terlihat pada gambar 2.5(b).

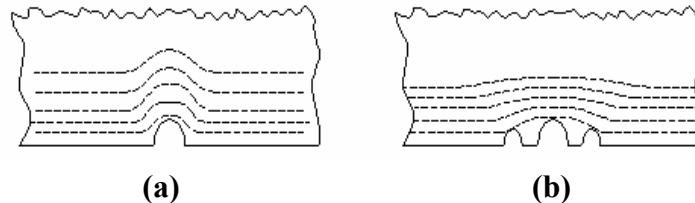


Gambar 2.5 Penurunan tegangan dengan perubahan geometri alur<sup>[1]</sup>



2. Pembuatan alur baru atau alur bantu dengan diameter alur yang lebih kecil dari alur utama tanpa merubah dimensi dan bentuk geometri dari alur utama.

Pada gambar 2.6 (a) tegangan terkonsentrasi pada daerah sekitar alur. Hal ini bisa diatasi dengan cara penambahan alur baru. Sehingga visualisasi aliran tegangannya dapat kita lihat pada gambar 2.6 (b).



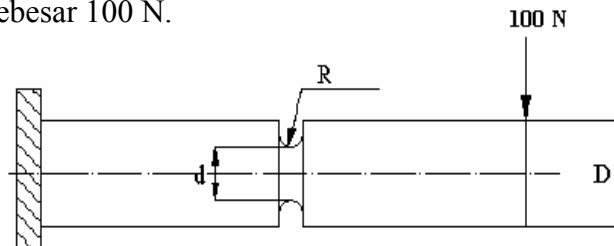
Gambar 2.6 Penurunan konsentrasi tegangan dengan penambahan alur baru [1]

Namun karena pengaruh hal-hal tertentu seperti pengaruh faktor fungsi alur pada perancangan menyebabkan geometri dan dimensi dari alur tersebut tidak boleh diubah, maka penurunan tegangan yang bekerja dengan cara pertama tidak bisa digunakan maka cara yang kedua yaitu penambahan alur baru merupakan cara yang paling baik. Penurunan tegangan yang bekerja melalui penambahan alur baru seperti pada gambar 2.6 tersebut dilakukan bertujuan untuk menurunkan konsentrasi tegangan yang terpusat pada alur utama poros

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Penghitungan Tegangan Secara Teoritik pada Alur Poros

Poros beralur yang dianalisis adalah poros yang memiliki alur melingkar seperti yang terlihat pada gambar 3.1, dimana panjang poros  $L = 80$  mm, diameter poros  $D = 16$  mm, diameter takikan  $d = 8$  mm, jari-jari alur  $R = 2$  mm, dan besarnya beban yang bekerja adalah sebesar 100 N.



Gambar 3.1 Bentuk poros yang diberi alur

Tegangan yang bekerja ( $\sigma_{work}$ ) maksimum pada poros terjadi pada daerah takikan atau alur yaitu pada jarak  $x = 40$  mm.

$$\sigma_{maks} = K_t \cdot \sigma_{Nominal} \quad (3-1)$$

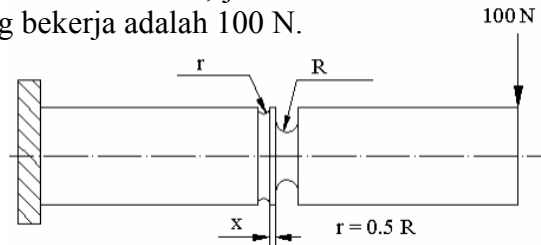
#### 3.2 Perhitungan Tegangan dengan Analisis Numerik dengan SAP 2000

##### 3.2.1 Pemodelan Elemen Poros Beralur

Untuk menganalisa tegangan yang bekerja pada poros terutama pada alur poros dilakukan dengan memodelkan poros menjadi 3.520 elemen dengan 7.934 nodal, di mana bentuk elemennya adalah solid.

### 3.2.2 Bentuk – bentuk penambahan Alur Baru

Penambahan alur baru pada poros beralur dilakukan dengan tiga cara : 1. Penambahan alur baru searah beban, 2. Penambahan alur baru searah tumpuan dan 3. Penambahan 2 alu baru searah beban dan searah tumpuan. Gambar 3.2 adalah poros yang diberi alur tambahan di sebelah arah tumpuan. Di mana jari-jari alur utama  $R = 2$  mm, jari-jari alur baru  $r = 1$  mm, jarak alur baru dari alur utama  $x = 1$  mm, dan besarnya beban yang bekerja adalah 100 N.



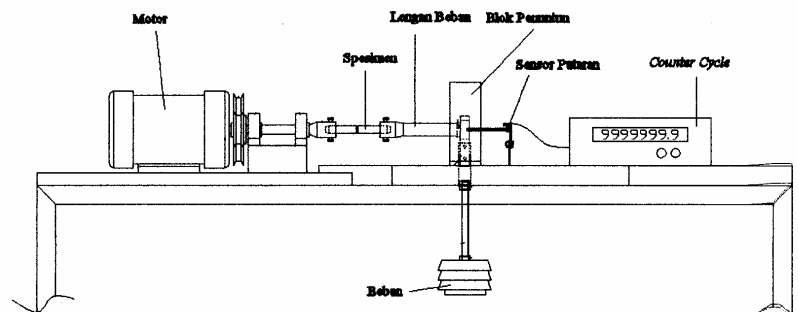
Gambar 3.2 Poros dengan alur baru sebelah tumpuan

Dengan cara yang sama seperti sebelumnya, poros yang diberi alur baru dimodelkan menjadi 6.680 elemen-elemen yang kecil dengan 7.934 buah joint atau nodal. Pemodelan poros beralur dengan penambahan alur baru dengan menggunakan pemodelan SAP 2000 ini, dilakukan dengan bervariasi jarak  $x$  terhadap alur utama. Di mana dimulai dengan  $x_1 = r$ ,  $x_2 = 2r$ ,  $x_3 = 3r$  dan seterusnya sampai nilai tegangan yang bekerja pada alur utama adalah terkecil dan tegangan yang bekerja pada alur baru tidak melewati harga tegangan pada alur utama atau dengan kata lain didapatkan harga  $x$  yang menghasilkan tegangan yang bekerja pada alur utama adalah yang optimum.

### 3.3 Pengujian umur spesimen secara eksperimen dengan Uji Lelah

#### 3.3.1 Mesin Uji Lelah

Mesin uji lelah yang digunakan dalam pengujian ini adalah mesin uji lelah jenis bending rotasi bolak-balik. Dimana spesimen uji dipasang secara kantilever, seperti pada Gambar 3.4 di bawah ini. Alat uji ini terdiri dari motor, tumpuan, beban dan alat pencacah jumlah putaran



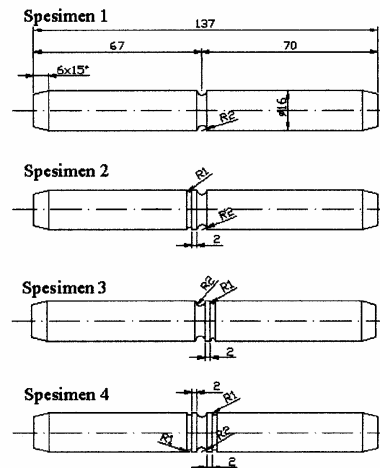
Gambar 3.4 Mesin Uji Lelah Jenis bending rotasi bolak-balik

#### 3.3.2 Spesimen Uji Lelah

Sebagai dasar pengambilan spesimen uji lelah diperoleh dari hasil perhitungan secara numerik dengan SAP 2000, dimana jarak penambahan alur baru yang optimal adalah

pada jarak 2 mm dari alur utama. Sehingga diperoleh 4 (empat) jenis sampel spesimen uji, yang terdiri dari : Spesimen uji tanpa menggunakan alur baru, Spesimen uji menggunakan alur baru searah beban, Spesimen uji menggunakan alur baru searah tumpuan, dan Spesimen uji menggunakan dua buah alur baru masing-masing dibuat searah beban dan searah tumpuan.

Dimensi dari spesimen tersebut adalah panjang nya 135 mm dengan diameter besar  $D = 16$  mm, diameter kecil  $d = 8$  mm dan jari-jari takikan masing-masing untuk alur utama  $r = 2$  mm dan alur bantu  $r = 1$  mm. Beban yang diberikan sebesar 4,3 kg. Dimensi dari spesimen uji dapat dilihat pada Gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar 3.5 Spesimen Uji

### 3.3.3 Perhitungan Tegangan Lelah dengan Kurva S - N

Untuk menentukan kekuatan lelah dari spesimen uji digunakan kurva S – N hasil eksperimen yang telah dilakukan oleh Usdi Amri [2004]. Persamaan garis linear dari kurva S – N diperoleh sebagai berikut<sup>6</sup> :

$$\log y = \frac{36,09723 - \log x}{7,0663055} \quad (3-1)$$

diman variabel x adalah jumlah putaran (cycles) dan y adalah besarnya tegangan (psi).

## IV. Hasil dan Pembahasan

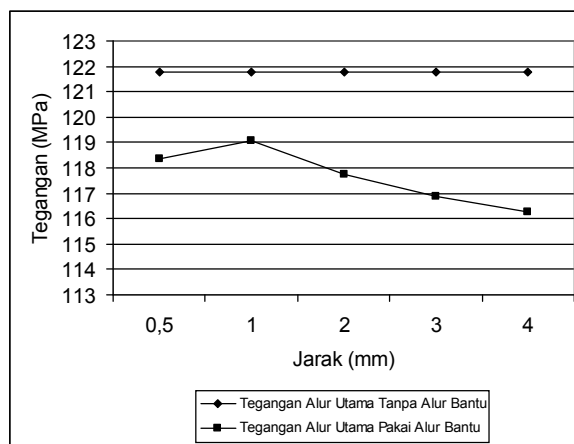
### 4.1 Data Hasil Perhitungan

Untuk validasi hasil perhitungan dilakukan perhitungan tegangan yang bekerja pada poros beralur secara teoritik dan secara numerik dengan SAP 2000 didapatkan harga tegangan maksimum yang bekerja pada alur poros masing-masing adalah sebesar 117,377 MPa dan 121,756 MPa. Dimana perbedaan hanya sekitar 3,73 % seperti pada Tabel 4.1 di bawah ini. Sehingga hasil analisis secara numerik dapat dianggap valid.

Tabel 4.1 Validasi hasil perhitungan

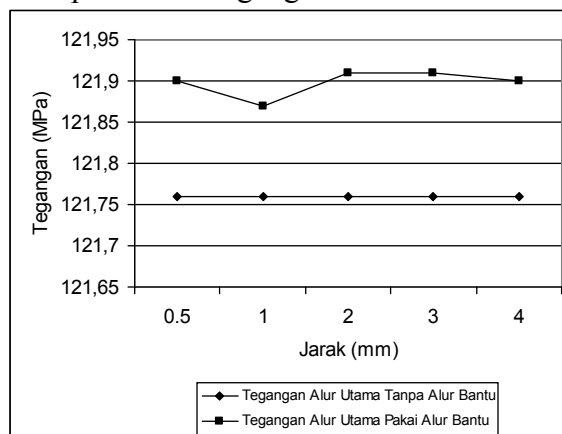
$\sigma_{\text{teoritik}}$ , MPa	$\sigma_{\text{pada SAP 2000}}$ , MPa	Perbedaan, MPa	Persentase
117,377	121,758	4,381	3,73 %

Langkah perhitungan selanjutnya dilakukan dengan menggunakan SAP 2000 dihitung besarnya tegangan-tegangan yang bekerja pada alur utama dan alur baru poros. Besarnya hasil dan penurunan tegangan maksimum akibat penambahan alur baru searah tumpuan dapat dilihat pada gambar 4.1 sampai 4.3. Grafik hubungan antara perubahan tegangan yang bekerja pada pada alur utama akibat penambahan alur baru searah posisi tumpuan dengan jarak penambahan alur baru dapat dilihat pada gambar 4.1. Di sini terlihat bahwa tegangan yang bekerja pada alur utama setelah penambahan alur baru cenderung turun. Di mana pada poros tanpa alur baru diperoleh tegangan maksimum yang bekerja ( $\sigma_{Maks.}$ ) sebesar 121,758 MPa. Namun setelah diberikan alur baru dihasilkan tegangan maksimum ( $\sigma_{Maks.}$ ) sebesar 118,338 MPa, atau turun sebesar 3,420 MPa (2,81 %). Kemudian alur baru digeser sebesar r (1 mm) dari alur utama dan didapatkan besarnya tegangan yang bekerja adalah sebesar 119,062 MPa.



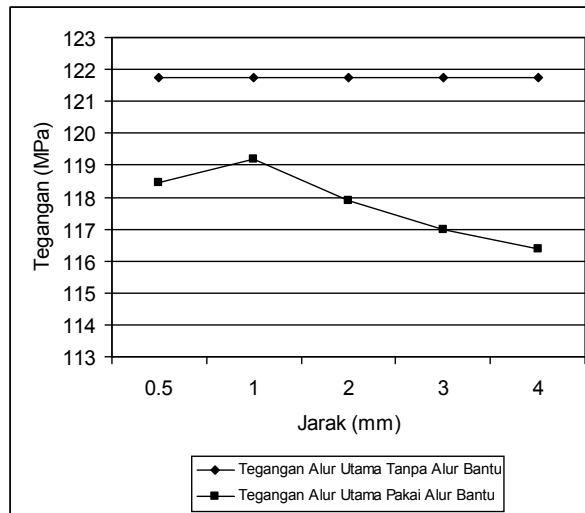
Gambar 4.1 Kurva tegangan maksimum pada alur utama terhadap jarak x dengan penambahan alur baru searah posisi tumpuan

Sedangkan grafik hubungan antara tegangan yang bekerja akibat penambahan alur baru searah posisi beban dapat dilihat pada gambar 4.3. Perubahan tegangan yang bekerja dengan penambahan alur searah posisi beban bertolak belakang dengan yang di atas, karena tegangan yang bekerja yang dihasilkan melalui perhitungan dengan SAP 2000 semakin lama semakin besar. Jadi penambahan alur baru searah beban tidak akan menghasilkan penurunan tegangan.



Gambar 4.3 Kurva tegangan maksimum pada alur utama terhadap jarak x dengan penambahan alur baru searah posisi beban

Dan grafik hubungan antara tegangan yang bekerja akibat penambahan 2 buah alur baru pada poros beralur dengan jarak pertambahan alur baru dapat dilihat pada gambar 4.4. Di sini juga terlihat bahwa tegangan yang bekerja pada alur utama akibat penambahan alur baru juga semakin menurun.



Gambar 4.4 Kurva tegangan maksimum akibat penambahan 2 buah alur baru terhadap jarak perpindahan alur baru

#### 4.2 Data Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan untuk ke-4 spesimen uji dengan menggunakan mesin uji lelah dan persamaan (4-1) dapat dilihat pada Tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.2 Data hasil pengujian dengan Mesin Uji Lelah

Beban (kg)	Umur, Cycles			
	Tanpa Alur Baru	Alur Baru Searah Beban	Alur Baru Searah Tumpuan	Dua alur baru searah tumpuan dan searah beban
4,3	441.600	202.203	388.891	425.407
4,3	319.895	201.482	454.486	579.031
4,3	325.017	221.384	414.495	383.378
Rata-rata Umur	362.170,7	208.356,3 (- 42,47 %)	419.290,7 ( 15,77 %)	462.605,3 (27,73 %)
Rata-rata Tegangan (psi)	20.973,99	22.680,89 (8,14 %)	20.543,76 (- 2,05 %)	20.259,93 (- 3,40 %)

Dari Tabel 4.2 di atas, dapat dilihat bahwa dengan penambahan alur baru searah tumpuan dan dua buah alur baru searah beban dan searah tumpuan akan menghasilkan umur spesimen yang lebih lama dan tegangan lelah yang lebih rendah jika dibandingkan dengan tanpa alur baru. Sedangkan untuk penambahan alur baru searah beban akan menurunkan umur spesimen dan meningkatkan tegangan lelah.

Dari hasil pengujian Uji Lelah untuk ke-4 spesimen uji, dapat dilihat Tabel 4.5 bahwa umur spesimen akan meningkat jika ditambahkan alur baru searah tumpuan dan 2 buah alur searah beban dan tumpuan masing-masing sekitar 15,77 % dan 27,73 %. Tegangan lelah akan berkurang masing-masing 2,05 % dan 3,40 %. Sedangkan penambahan alur baru searah beban akan menurunkan umur sebesar 42, 47 % dan tegangan lelah meningkat 8,14 %.

Dari hasil perhitungan secara numerik, jika dibandingkan dengan pengujian secara eksperimen dapat dilihat bahwa persentase penurunan tegangan untuk penambahan alur baru searah tumpuan masing masing 3, 29 % dan 2,05 % , persentase penurunan tegangan dengan penambahan 2 alur baru searah beban dan searah tumpuan masing-masing 3,19 % dan 3,40 %. Sedangkan persentase kenaikan tegangan untuk penambahan alur baru searah beban masing-masing 0,15 % dan 8,14 %. Perbedaan antara hasil perhitungan secara numerik dan hasil yang diperoleh secara eksperimen tidak jauh berbeda.

## **V KESIMPULAN DAN SARAN**

Setelah melakukan pengujian secara eksperimen akibat penambahan alur baru pada poros beralur dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Besarnya tegangan lelah yang bekerja pada poros beralur dapat direduksi dengan cara penambahan alur baru pada poros.
2. Besarnya penurunan tegangan lelah yang bekerja pada alur utama poros akan semakin besar jika alur baru yang ditambahkan searah posisi tumpuan dan 2 buah alur baru, sedangkan penambahan alur baru searah beban terjadi peningkatan tegangan lelah.
3. Dari ketiga cara yang digunakan didapatkan cara penambahan 1 alur baru searah posisi tumpuan dan 2 buah alur baru searah tumpuan dan searah beban adalah yang terbaik, di mana jarak optimum pemasangan alur baru pada objek yang dianalisis adalah sebesar  $2r$  (2 mm), di mana  $r = 0,5 R$ .

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Puji Syukur yang sedalamnya penulis sampaikan Kehadirat Allah SWT yang telah memberi rahmatnya sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar. Selanjutnya penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Proyek Pengkajian Ilmu Pengetahuan Terapan Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional yang telah membiayai penelitian ini dengan Kontrak No. 001/SP2H/PP/DP2M/III/2007 Tanggal 29 Maret 2007. Seterusnya juga tidak lupa diucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian Universitas Andalas atas koordinasinya selama ini. Terakhir penulis juga ingin mengucapkan rasa terima kasih dan penghargaan pada semua rekan-rekan di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas dan Laboratorium INTI Teknologi Produksi Fakultas Teknik UNAND Padang.

## DAFTAR PUSTAKA

1. **Spotts. M.F,** *Design of Machine Elements*, Seventh Edition, Mechanical Engineering Department, Northwestern University
2. **Gasni. Dedison,** “*Kriteria Patah Lelah Untuk Beban Dinamik*”, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andalas, Padang, 2002.
3. **J.A. Collins,** *Failure of Materials in Mechanical Design*, John Wiley & Sons, The Ohio State University, 1981.
4. **Wigroho,  
Haryanto Yoso,** *Analisis dan Perancangan Struktur Frame Menggunakan SAP 2000 versi 7.42*, Andi, Yogyakarta, 2002.
5. **NN,** *Solid Element And Stress Concentration*, [www.google.com](http://www.google.com), 2003.
6. **Cross. Nigel,** *Engineering Design Methods*, Second Edition, John Wiley & Sons, Chichester, 1994.
7. **Usdi Amri** *Alat Uji Lelah Putaran Tinggi (High-Cycle) Type Momen Bending Kantilever*, Padang, 2004

