

DIPA

LAPORAN PENELITIAN



UNIVERSITAS NEGERI PADANG
DITERIMA TGL. : 1-3-2011
HD
KI
100/HD/2011-a, (1)
621.82 Mul a.1

ANALISA KEGAGALAN POROS BAJA KARBON St. 60 AKIBAT BEBAN TARIK

Oleh:

Ir. Mulianti, MT
Hendri Nurdin, MT

Penelitian ini dibiayai oleh:
Dana DIPA Universitas Negeri Padang
Surat Perjanjian Kontrak Nomor: 190/H35/KP/2010
Tanggal 1 Maret 2010

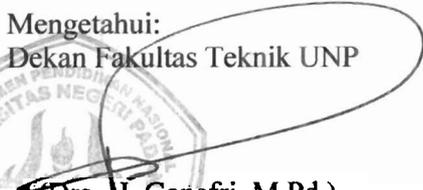
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2010

MILIK PERPUSTAKAAN
UNIV. NEGERI PADANG

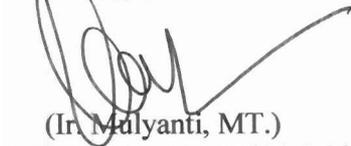
**HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN HASIL
PENELITIAN DOSEN – DANA DIPA UNP**

1. a. Judul Penelitian : **Analisa Kegagalan Poros Baja Karbon St. 60 Akibat Beban Tarik**
- b. Bidang Ilmu : Teknik (Teknologi & Rekayasa)
- c. Kategori Penelitian : Pengembangan Ilmu Teknik
2. a. Ketua Peneliti
 - Nama Lengkap dan Gelar : Ir. Mulyanti, MT.
 - Jenis Kelamin : Perempuan
 - Gol / Pangkat dan NIP : Penata Tk.I/ III.b / 19640101 199003 2 002
 - Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
 - Jabatan Struktural : Dosen
 - Jurusan / Fakultas : Teknik Mesin / Teknik
 - Pusat Penelitian : Lembaga Penelitian UNP
- b. Alamat Ketua Peneliti
 - Kantor / Telp. / Fax : TM FT-UNP Telp.7053508
 - Rumah / Telp : Jl. Anggur I / Blok B No. 78 Kuranji
- Padang Hp. 08126710482
3. Jumlah Anggota Peneliti : 1 (satu) Orang
- Nama Anggota Peneliti : Hendri Nurdin, MT
4. Lokasi Penelitian : Labor Bahan T. Mesin FT-UNP
5. Kerjasama dengan institusi lain : -
6. Lama Penelitian : 4 (Empat) Bulan
7. Biaya yang diperlukan : Rp 7.500.000,-
(*Tujuh Juta Lima Ratus Ribu Rupiah*)

Mengetahui:
Dekan Fakultas Teknik UNP


(Drs. M. Ganefri, M.Pd.)
NIP. 19631217 198903 1 003

Padang, 28 Desember 2010
Ketua Peneliti


(Ir. Mulyanti, MT.)
NIP. 19640101 199003 2 002

Menyetujui:

Ketua Lembaga Penelitian
Universitas Negeri Padang


(Drs. Alwein Bentri, M.Pd.)
NIP. 19610722 198602 1 002

LEMBARAN IDENTITAS DAN PENGESAHAN PENELITIAN

1. a. Judul Penelitian : **Analisa Kegagalan Poros Baja Karbon St. 60 Akibat Beban Tarik**
- b. Bidang Ilmu : Teknik (Teknologi & Rekayasa)
- 2 Personalia
 - a Ketua Peneliti
 - Nama Lengkap dan Gelar : **Ir. Mulianti, MT.**
 - Pangkat /Gol./NIP : Penata / IV.a / 19640101 199003 2 002
 - Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Mesin
 - b Anggota Peneliti
 - Nama Lengkap dan Gelar : **Hendri Nurdin, MT.**
 - Pangkat /Gol./NIP : Penata Muda Tk. I / III.b / 19730228 200801 1 007
 - Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Mesin
3. Usul Penelitian : Telah direvisi sesuai saran

Padang, 28 Desember 2010

Pereviu I

(Dr. Ambiyar, M.Pd)
NIP. 19550213 198103 1 003

Pereviu II

(Drs. Hasanuddin, M.S.)
NIP. 19550520 198003 1 005

Menyetujui:
Ketua Lembaga Penelitian
Universitas Negeri Padang

(Drs. Alwein Bentri, M.Pd.)
NIP. 19610722 198602 1 002

PENGANTAR

Kegiatan penelitian mendukung pengembangan ilmu serta terapannya. Dalam hal ini, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang berusaha mendorong dosen untuk melakukan penelitian sebagai bagian integral dari kegiatan mengajarnya, baik yang secara langsung dibiayai oleh dana Universitas Negeri Padang maupun dana dari sumber lain yang relevan atau bekerja sama dengan instansi terkait.

Sehubungan dengan itu, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang bekerjasama dengan Pimpinan Universitas, telah memfasilitasi peneliti untuk melaksanakan penelitian tentang *Analisa Kegagalan Poros Baja Karbon St. 60 Akibat Beban Tarik*, berdasarkan Surat Keputusan Rektor Universitas Negeri Padang Nomor: 190/H35/KP/2010 Tanggal 1 Maret 2010.

Kami menyambut gembira usaha yang dilakukan peneliti untuk menjawab berbagai permasalahan pembangunan, khususnya yang berkaitan dengan permasalahan penelitian tersebut di atas. Dengan selesainya penelitian ini, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang akan dapat memberikan informasi yang dapat dipakai sebagai bagian upaya penting dalam peningkatan mutu pendidikan pada umumnya. Di samping itu, hasil penelitian ini juga diharapkan memberikan masukan bagi instansi terkait dalam rangka penyusunan kebijakan pembangunan.

Hasil penelitian ini telah ditelaah oleh tim pembahas usul dan laporan penelitian, kemudian untuk tujuan diseminasi, hasil penelitian ini telah diseminarkan ditingkat Universitas. Mudah-mudahan penelitian ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pada umumnya dan khususnya peningkatan mutu staf akademik Universitas Negeri Padang.

Pada kesempatan ini, kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang membantu terlaksananya penelitian ini, terutama kepada pimpinan lembaga terkait yang menjadi objek penelitian, responden yang menjadi sample penelitian, dan tim pereviu Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang. Secara khusus, kami menyampaikan terima kasih kepada Rektor Universitas Negeri Padang yang telah berkenan memberi bantuan pendanaan bagi penelitian ini. Kami yakin tanpa dedikasi dan kerjasama yang terjalin selama ini, penelitian ini tidak akan dapat diselesaikan sebagaimana yang diharapkan dan semoga kerjasama yang baik akan menjadi lebih baik lagi di masa yang akan datang.

Terima kasih.

 Padang, Desember 2010
Ketua Lembaga Penelitian
Universitas Negeri Padang

Drs. Alwein Bentri, M.Pd.
NIP/19610722 198602 1 002

RINGKASAN

Poros roda kendaraan merupakan salah satu bagian dari komponen mesin yang mengalami beban dinamis akan terjadi fluktuasi tegangan. Ketika fluktuasi yang terjadi berlangsung secara berulang sesering mungkin, maka akan terjadi kegagalan, meskipun tegangan maksimum yang terjadi masih lebih kecil dibanding dengan kekuatan statis material poros roda tersebut. Kegagalan suatu material poros tidak terlepas dari karakteristik struktur yang dimilikinya. Kegagalan poros 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.

Sifat lemah atau kegagalan suatu material baja karbon St. 60 yang digunakan sebagai poros dipengaruhi oleh banyak faktor. Perlu diperhatikan bahwa patahnya (*fracture*) suatu material selalu diawali pada tempat-tempat dimana terjadi konsentrasi tegangan dengan pola pembebanannya.

Menjawab permasalahan tersebut di atas, diperlukan suatu analisis pada poros dari material baja karbon St.60. Poros baja karbon St.60 dibuat spesimen uji yang diberi bentuk takik-U dan takik-V terhadap kekuatan tarik yang memberikan efek konsentrasi tegangan. Fenomena kegagalan yang terjadi akan memperlihatkan sifat material dari pengamatan patahannya.

Bahan poros yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon menengah (*medium carbon steel*) St. 60 yang berbentuk *round bar* dengan komposisi kimianya: C 0.46%; Si 0.24%; Mn 0.66%; P 0.013%; S 0.008%. Pembuatan spesimen uji sesuai standard ASTM A370. Spesimen uji masing-masing dibuat bentuk takik-U dan takik-V dibagian tengahnya. Variasi takik-U radius 4 mm dan 8 mm serta takik-V 60°. Pengujian tarik dilakukan dengan *Tension Testing Machine* dan pengamatan patahan akibat beban tarik dilakukan secara makro pada penampang patahan.

Dari hasil penelitian ini diperoleh informasi mengenai sifat mekanis material poros baja karbon St.60. Dari hasil pengujian tarik pada spesimen uji yang tanpa takik tegangan tarik rata-ratanya sebesar 775,65 MPa. Dengan adanya bentuk takik maka akan mempengaruhi kekuatan tarik dari material yang beraplikasi adanya konsentrasi tegangan pada batang. Dari ketiga bentuk takik yang divariasi maka bentuk takikan yang bersudut lebih mampu menahan beban tarik yang terjadi. Tegangan tarik spesimen bertakik V 60° diperoleh nilai rata-rata sebesar 548,17 MPa. Bentuk takik-U radius 4 mm lebih besar yaitu tegangan tarik rata-ratanya 514,06 MPa dibandingkan dengan takik-U radius 8 mm yaitu tegangan tarik rata-ratanya 436,48 MPa. Konsentrasi tegangan yang terjadi akibat adanya bentuk takik (tempat pasak atau baji, *alur, spline*) mengakibatkan kegagalan dari material poros baja karbon St. 60. Dari pengamatan bentuk penampang patahan yang terjadi adalah patah liat dimana adanya reduksi luas penampang secara lokal atau *necking*.

Kata-kata kunci: *Baja karbon St. 60, tegangan tarik, konsentrasi tegangan, bentuk takikan, patahan* .

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN PENGESAHAN	
HALAMAN IDENTITAS	
A. LAPORAN HASIL PENELITIAN	
PENGANTAR	iii
RINGKASAN	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	2
C. Batasan Masalah	2
D. Perumusan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
A. Poros Baja Karbon	4
B. Faktor Konsentrasi Tegangan dan Perlakuan	6
C. Pengaruh Pola Pembebanan	8
D. Jenis Takik dan Penampang Patahan Uji	10
E. Kegagalan Tarik	11
F. Analisa Patahan	12
G. Pertanyaan Penelitian	15
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	16
A. Tujuan Penelitian	16
B. Manfaat Penelitian	16
BAB IV METODE PENELITIAN	17
A. Jenis Penelitian	17
B. Waktu dan Tempat	17
C. Bahan	17
D. Peralatan	19
E. Metode Pelaksanaan Penelitian	19
F. Pengamatan dan Pengolahan Data	20
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	21
A. Pengujian Tarik Statik	21
B. Pengamatan Patahan	23
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	25
A. Kesimpulan	25

B. Saran	25
DAFTAR KEPUSTAKAAN	26
LAMPIRAN	28

DAFTAR GAMBAR

	Halaman	
Gambar 1	Mekanisme energi regangan elastis batang uniaksial	11
Gambar 2	Tahapan patah liat akibat beban tarik statis uniaksial	13
Gambar 3	Deformasi mikro menyebabkan terjadinya retakan intruksi dan ekstruksi	14
Gambar 4	Proses penumpulan plastik pada perambatan retak tahap II	14
Gambar 5	Penampang tahapan retak	14
Gambar 6	Geometrid an Dimensi Spesimen uji tarik ASTM A370	18
Gambar 7	Spesimen uji tarik Baja Karbon St. 60	18
Gambar 8	Tension Testing Machine (Universal Unit)	19
Gambar 9	Diagram alir Penelitian	20
Gambar 10	Grafik Tegangan Tarik	22
Gambar 11	Perpatahan Spesimen setelah Pengujian Tarik	24
Gambar 12	Penampang Patahan Liat	24

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Tabel dan Grafik Hasil Pengujian	28
Lampiran 2 Kalkulasi Perhitungan	31
Lampiran 3 Dokumentasi Kegiatan	32

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan dalam bidang perancangan dan manufaktur konstruksi mesin telah mendorong dilakukannya secara terus menerus pengujian terhadap material dengan berbagai metoda. Meskipun semua jenis material yang ada dipasaran telah mengalami proses pengujian kekuatan dan perilaku mekanik, ternyata masih banyak informasi yang dibutuhkan oleh para perancang dan teknisi yang belum terpenuhi secara maksimal. Salah satu hal yang masih perlu dilakukan penelitian dalam mendapatkan perilaku dinamis material dalam berbagai kondisi pembebanan.

Poros roda kendaraan merupakan salah satu bagian dari komponen mesin yang mengalami beban dinamis akan terjadi fluktuasi tegangan. Ketika fluktuasi yang terjadi berlangsung secara berulang sesering mungkin, maka akan terjadi kegagalan, meskipun tegangan maksimum yang terjadi masih lebih kecil dibanding dengan kekuatan statis material poros roda tersebut. Pada kondisi ini, sifat-sifat mekanik material telah mengalami perubahan, kemampuannya untuk menerima beban maksimum akan berkurang pula.

Kegagalan suatu material poros tidak terlepas dari karakteristik struktur yang dimilikinya. Kegagalan poros 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. Untuk membuat geometri struktur yang benar-benar kontinyu dan bebas cacat adalah relatif sulit, karena tuntutan desain ataupun proses fabrikasi yang berpeluang menciptakan cacat, baik disengaja maupun tidak disengaja. Adanya takikan, alur pasak, maupun kontruksi yang bertanggung sangat berpotensi untuk menimbulkan konsentrasi tegangan pada daerah dimana terjadi perubahan penampang. Suatu struktur tanpa konsentrasi tegangan, patah lelah dapat terjadi pada tegangan yang besarnya kurang dari sepertiga kekuatan tarik statiknya. Sedangkan pada struktur dengan konsentrasi tegangan, maka patah lelah akan terjadi pada tegangan yang

jauh lebih rendah, Surdia (1992). Patah akibat dilampauinya tegangan tarik biasanya menunjukkan patah ulet, yaitu terjadinya deformasi plastis yang cukup besar disekitar potongan patah.

Karakteristik material umumnya dinyatakan dengan kurva Tegangan-Regangan, dimana dapat diketahui kekuatan suatu konstruksi. Saat ini kita telah memasuki fase perancangan gagal aman (*fail safe design*) dimana diizinkan adanya retak, namun harus memperhitungkan batas waktu untuk beroperasinya suatu komponen hingga kondisi dimana komponen harus diganti (Broek,1987).

Dari uraian di atas peneliti memandang perlu dilakukan suatu penelitian terhadap material poros yang nantinya bisa memberikan informasi mengenai berapa besar kekuatan tarik material baja karbon.

B. Identifikasi Masalah

Dari uraian latar belakang tersebut, dapat diidentifikasi masalah-masalah yang dapat diteliti sebagai berikut :

1. Parameter perlakuan uji tarik.
2. Reduksi penampang putus saat uji tarik.
3. Penurunan batas kekuatan tarik akibat peningkatan faktor konsentrasi tegangan pada daerah takikan terhadap spesimen tidak bertakik.
4. Karakteristik pembebanan yang terjadi.
5. Ketangguhan dan kekuatan leleh akibat konsentrasi tegangan.
6. Mikrostruktur akibat deformasi plastis.

C. Batasan Masalah

Pada Penelitian ini dilakukan pengujian tarik pada material poros baja karbon St. 60 dengan membuat variasi bentuk takik pada spesimen uji. Spesimen uji sesuai standar ASTM A370 untuk pengujian tarik material baja. Variasi bentuk takikan pada spesimen uji berbentuk U dengan radius 8 mm dan 4 mm, sedangkan bentuk takik V dengan sudut 60° . Metode pengujian tarik statik dilakukan dengan menggunakan *Tension Testing Machine*. Bentuk perpatahan spesimen diamati

secara visual dengan kondisi yang terjadi.

D. Perumusan Masalah

Ditinjau dari latar belakang tersebut di atas maka sifat lemah atau kegagalan suatu material baja karbon St. 60 yang digunakan sebagai poros dipengaruhi oleh banyak faktor. Perlu diperhatikan bahwa patahnya (*fracture*) suatu material selalu diawali pada tempat-tempat dimana terjadi konsentrasi tegangan dengan pola pembebanannya. Namun penelitian kearah tersebut masih sulit ditemukan, terutama untuk takikan yang diberi beban dan hal itulah yang mendorong penulis untuk mencoba meneliti bidang mekanika perpatahan ini.

Penelitian ini mengemukakan sejauh mana pengaruh takik-U dan takik-V sebagai titik kritis terhadap kekuatan tarik pada spesimen baja karbon St.60. Kehadiran takik-U dan takik-V disini untuk memberikan efek konsentrasi tegangan pada spesimen uji. Fenomena kegagalan yang terjadi akan memperlihatkan sifat material dari pengamatan patahannya. Pengujian terhadap spesimen dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik (*Tension Testing Machine*).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Poros Baja Karbon

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. Poros roda beserta kelengkapannya menjamin 50 sampai 80 % berat kendaraan, pada saat yang sama poros roda harus menggerakkan roda-roda. Poros roda dapat dibagi 2 jenis yaitu poros roda depan dan poros roda belakang. Hal ini disesuaikan dengan sistem penggerak pada kendaraan tersebut. Pada prinsipnya poros roda memindahkan momen dari penggerak utama ke roda-roda kendaraan.

Hal-hal penting dalam perencanaan poros adalah kekuatan poros yang mengalami beban tarik atau tekan, puntir atau lentur. Kelelahan, tumbukan atau pengaruh konsentrasi tegangan bila diameter poros diperkecil, poros mempunyai alur pasak, spline harus diperhatikan. Poros harus direncanakan sehingga cukup kuat untuk menahan beban-beban yang timbul. Kekakuan poros juga harus dipertimbangkan dan disesuaikan dengan macam mesin yang akan dilayani oleh poros tersebut. Poros untuk mesin biasanya dibuat dari baja karbon konstruksi dimana kadar karbonnya terjamin.

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.

Berdasarkan Tabel 1, maka material poros roda kendaraan dapat digolongkan ke dalam material *medium carbon steel*. Material ini biasanya digunakan untuk keperluan *general structure*. Material logam ini memiliki kandungan karbon berkisar antara 0,1 sampai 1,7 % sebagai elemen paduan utama (Timings, R.L., 1998). Unsur elemen tambahan *medium carbon steel* antara lain yaitu: mangan hingga 1,0 %, fosfor hingga 0,05 %, silika hingga 0,3 %, dan sulfur hingga 0,05 %.

Tabel 1. Klasifikasi Logam Ferrous (Timings, R.L 1998)

Nama	Group	Kandungan Karbon (%)	Beberapa Penggunaan
Low-carbon steel	Plain carbon steel	0,1 – 0,15	Lembaran pelat untuk dipress menjadi panel kerangka mobil, kawat/kabel, batangan dan pipa-pipa
	Plain carbon steel	0,15 – 0,3	Untuk kebutuhan umum bengkel dalam bentuk batangan, pelat boiler dan roda gigi.
Medium-carbon steel	Plain carbon steel	0,3 – 0,5	Crankshaft, poros, pegas daun, cold chisel
High-carbon steel	Plain carbon steel	0,8 – 1,0 1,0 – 1,2 1,2 – 1,4	Coil spring, wood chisels Files, mata bor, dies dan taps Alat-alat tajam (pisau dll.)

Dalam mendapatkan sifat suatu bahan yang berkaitan dengan tegangan dan regangan, beban diberi secara bertahap, agar memberi waktu yang cukup untuk berkembang. Dalam kondisi biasa tegangan dan regangan diberikan hanya sekali. Kondisi ini dikenal sebagai kondisi statis (*static condition*) dan diperkirakan mendekati kondisi yang sebenarnya dari berbagai struktur komponen mesin.

Begitupun sering muncul kondisi di mana tegangan regangan berubah atau berfluktuasi antara beberapa harga. Misalnya suatu struktur logam tertentu pada permukaan komponen mesin yang berputar atau mengalami beban tarik secara statis.

Dalam mempelajari sifat-sifat mekanik suatu bahan, proses karakterisasi bahan memegang peranan penting. Secara umum, setiap sampel yang akan di uji akan dilakukan proses mekanik dengan tekan (*kompresi*) atau tarik. Dari perubahan-perubahan besaran mekanik ini kemudian di ukur dan di analisa untuk mendapatkan besaran-besaran khusus dari bahan yang diuji. Sehingga untuk mendapatkan informasi tentang karakteristik dari suatu bahan uji maka dilakukan pengujian tarik.

B. Faktor Konsentrasi Tegangan dan Perlakuan

Bila diamati, kegagalan suatu komponen mesin seringkali terjadi pada daerah dimana penampangnya berubah, misalnya poros patah pada daerah di sekitar fillet dan baut patah pada daerah batas antara kepala dengan badan baut. Kegagalan tersebut dapat dijelaskan bila faktor konsentrasi tegangan telah dipahami. Sebuah ilustrasi tentang faktor konsentrasi tegangan yang dialami oleh poros bertingkat dapat diperhatikan pada pengujian tarik. Hal ini tidak hanya terjadi pada poros saja namun tegangan yang dialami oleh pelat yang memiliki berbagai jenis perubahan penampang antara lain lubang di tengah, alur setengah lingkaran di kedua tepi, dan fillet juga menimbulkan konsentrasi tegangan.

Suatu diskontinuitas dalam benda misalnya lubang atau takik, akan mengakibatkan distribusi tegangan tidak merata disekitar diskontinuitas tersebut. Pada beberapa daerah didekat diskontinuitas, tegangan akan lebih tinggi daripada tegangan rata-rata yang jauh letaknya dari diskontinuitas. Jadi telah terjadi konsentrasi tegangan pada diskontinuitas.

Konsentrasi tegangan dinyatakan dengan faktor tegangan K . Pada umumnya K adalah sebagai perbandingan antara tegangan maksimum dengan tegangan nominal terhadap dasar penampang sesungguhnya. Besarnya tegangan maksimum yang terjadi dibandingkan dengan besarnya tegangan rata-rata disebut dengan faktor konsentrasi tegangan (K_t). Pendekatan dalam menentukan besarnya faktor konsentrasi tegangan pada spesimen yang bertakik atau berlubang, yaitu :

$$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma} \quad (1)$$

dimana:

K_t = faktor konsentrasi tegangan berdasarkan *gross stress*

σ_{max} = tegangan maksimum yang terjadi pada takikan

σ = besarnya tegangan yang diberikan pada benda (*normal stress*)

Besarnya tegangan normal yang terjadi akibat beban aksial adalah :

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

dimana :

σ = tegangan normal

F = gaya yang bekerja

A = luas penampang

Persamaan (2) di atas hanya dapat digunakan jika penampang dari suatu spesimen relatif seragam. Dengan kata lain apabila terdapat perubahan yang signifikan pada penampangnya, seperti adanya takik (lubang) atau perubahan luas penampang, maka persamaan (2) tidak dapat digunakan untuk menentukan besarnya tegangan normal pada seluruh penampang spesimen tersebut. Hal ini dikarenakan terdapat kenaikan harga tegangan yang terjadi pada daerah di sekitar penampang yang tidak seragam tersebut, atau disebut juga dengan konsentrasi tegangan.

Berbagai penelitian telah banyak dilakukan mengenai faktor konsentrasi tegangan. Shul'ginov dan Matveyev (1997) melakukan pengujian lelah plat baja paduan rendah dan sambungan las plat baja terhadap momen lentur yang tidak berputar. Spesimen uji tanpa las terdiri dari plat tak berlubang ($K_t=1$) dan plat berlubang di bagian tengah ($K_t=2,5$), sedangkan spesimen uji sambungan las mempunyai $K_t=3,13$. Pengujian dilakukan dengan beban sinusoidal dan beban impact pada kondisi suhu kamar (20°C) dan suhu -60°C . Rasio tegangan divariasikan pada $R=0$ dan $0,5$. Berdasarkan kurva S-N, dapat dibuktikan bahwa faktor konsentrasi tegangan yang lebih besar menyebabkan umur lelah spesimen menjadi lebih rendah.

Goto dan Nisitani (1994) menyatakan bahwa semakin tinggi kekuatan tarik material semakin tinggi pula batas ketahanan lelahnya. Pengujian ketahanan lelah poros baja karbon S45C dan baja SNCM439 dilakukan dengan menggunakan *rotary bending fatigue machine* pada beban amplitudo konstan. Mesin uji mempunyai kapasitas torsi maksimum 98Nm, dan beroperasi pada putaran 3500rpm. Sebelum proses pengujian, material diberi perlakuan *normalizing* yang dilanjutkan *quenching* dan *tempering*. Konsentrator tegangannya berupa takikan lubang bor dengan diameter 0,1mm sedalam 0,1mm. Pada pengujian ini, batas ketahanan lelah baja S45C yang memiliki kekuatan tarik 833MPa adalah 450MPa atau 54% σ_u , sedangkan batas ketahanan lelah baja SNCM439 yang memiliki kekuatan tarik 1002 MPa adalah 510 MPa atau 51% σ_u .

Umumnya beban kejut dinamis sangat berpengaruh terhadap umur lelah poros. Rodesri Mulyadi (2004) meneliti karakteristik lelah poros baja karbon rendah bertakik U yang diakibatkan beban amplitudo konstan dan berfluktuasi. Takikan menimbulkan faktor konsentrasi tegangan ($R=1,42$) yang dihitung menggunakan metode komputasi elemen hingga. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *rotary bending fatigue machine* yang bekerja pada putaran 2850 rpm. Poros tak bertakik akan gagal setelah siklus beban 10^8 dengan amplitudo tegangan 400 MPa dan pada poros bertakik akan gagal pada siklus beban diatas $1,6 \cdot 10^6$ pada amplitudo tegangan 154 MPa. Dari kurva tersebut tampak terjadi penurunan batas ketahanan lelah spesimen bertakik sekitar 45% (190 MPa) dibanding spesimen tak bertakik yang gagal pada tegangan 420 MPa.

C. Pengaruh Pola Pembebanan

Kekuatan lelah dapat berkurang akibat beban lebih periodik (*periodic overloads*) $R=-1$, yang disebut juga *sequence effect*. Beban lebih tekan periodik (*periodic compression overloads*) pada kondisi beban yang sama akan menurunkan batas lelah aluminium 2024-T351 tak bertakik dari $AS = 250$ MPa ($R=-1$, amplitudo konstan) menjadi 80 MPa, sedangkan spesimen bertakik mempunyai batas lelah lebih rendah lagi yaitu 45 MPa. Jenis takik tersebut adalah lubang di tengah spesimen plat dengan tiga variasi diameter yaitu 0,24 mm, 1 mm, dan 3 mm. Perilaku

tersebut dijelaskan dengan dasar mekanisme mikro retak lelah yang pendek diujung takik. Beban lebih tekan periodik menekan butiran struktur diujung retak, sehingga bersifat lebih keras dan memudahkan retak untuk merambat lebih cepat. Laju perambatan retak ini sangat dipengaruhi oleh sifat struktur mikro disekitar ujung takik. Butiran yang lunak di ujung takik merupakan struktur mikro penghambat terhadap perambatan retak. (DuQuesnay dkk, 1995).

Yang dkk (1994) melakukan uji lelah baja 4QCr dengan perlakuan *quenching* dan *tempering* pada suhu 600°C, menggunakan *hydrolic servo testing machine*. Beban lelah dikontrol dengan tegangan dinamis maupun regangan dinamis. Material uji yang digunakan mempunyai kekuatan luluh (σ_y) 800 MPa dan kekuatan tarik (σ_b) 900 Mpa. Jenis beban uji yang diberikan adalah laju regangan tinggi (*high strain rate*) pada kondisi *low cycle impact fatigue* (LCIF) dan *low cycle fatigue* (LCF). Pada pembebanan dengan menjatuhkan *hammer* berulang-ulang, didapat laju regangan izin spesimen mencapai 400 s⁻¹ dan variasi kecepatan impak lebih dari 7,7 ms⁻¹. Hasil pengujian lelah ini menunjukkan bahwa pembebanan pada kondisi LCIF lebih berbahaya dibandingkan pada kondisi LCF, hal ini karena terjadinya deformasi plastis yang tidak homogen dan terkonsentrasi secara lokal sehingga menimbulkan internal stress. Beban laju regangan tinggi pada kondisi LCIF menyebabkan baja 40Cr bersifat getas dan gagal lebih awal.

D. Jenis Takik dan Penampang Patahan Uji

Teori elastisitas menyebutkan bahwa bila suatu benda pejal dibebani oleh gaya luar, benda tersebut akan berubah bentuk (*deformasi*) sehingga menimbulkan tegangan dan regangan. *Geometri* benda sangat berpengaruh pada distribusi tegangan. Tegangan akan terkonsentrasi pada daerah-daerah dimana terjadi perubahan bentuk yang tiba-tiba seperti lubang dan takikan. Apabila sebuah pelat terdapat lubang dengan pemberian gaya maka akan terjadi pemusatan tegangan disekitar lubang.

Pada daerah perambatan retak makro, beban tarik menyebabkan perambatan retak cepat dan arahnya tegak lurus terhadap sumbu beban tarik, sedangkan akibat beban lebih puntir, menyebabkan retak merambat menuju ke arah

beban puntir dan perambatannya lambat. Pemberian beban lebih tarik pada siklus beban puntir dinamis lebih berbahaya dibandingkan dengan kondisi beban lebih puntir pada siklus beban tarik-tarik. Kombinasi beban puntir-tarik yang disertai dengan beban lebih akan mempercepat perilaku perambatan retak dan *crack initiation* hingga mencapai daerah transisi (Hua dan Fernando, 1996).

Besarnya sudut takik V tidak selalu harus 60° , tetapi dapat bervariasi. Seperti halnya takikan V dengan sudut 90° pada penelitian yang dilakukan oleh Taylor dkk (1996). Takikan tersebut mempunyai kedalaman 3,18 mm dan radius ujung takik 0,3 mm. Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari perilaku perambatan retak untuk menentukan umur kelelahan dengan pendekatan *fracture mechanics*. Material yang diuji adalah *gray cast iron grade 17* yang mempunyai kekuatan tarik 249 MPa dan nodular SG Irons (*pearlitic dan ferritic*), batas leleh spesimen bertakik lebih kecil dibandingkan dengan spesimen tak bertakik dan bertambahnya diameter spesimen menurunkan batas kelelahan material.

Suatu metoda analisis untuk mengevaluasi perilaku leleh karena beban lentur putar diperkenalkan oleh Setiyono (1999). Kegagalan leleh terjadi melalui beberapa tahap, yaitu pembentukan awal retak, perambatan retak, dan kerusakan akhir. Pendekatan Neuber digunakan untuk prediksi siklus pembentukan retak awal, dan pendekatan Paris ditujukan untuk prediksi siklus perambatan retak lelehnya. Ketelitian hasil prediksi dengan metoda ini diverifikasi dengan pengujian kelelahan baja karbon bertakik-V yang terbebani lentur putar ($R=-1$).

Pengujian poros uji bertakik-V dengan sudut takik 60° juga dibuat oleh Fonte dan Freitas (1997). Takikan ini dibuat untuk membentuk *precracked* sepanjang setengah diameter. Pengujian dilakukan pada mesin dengan putaran 1450 rpm. *Precracking* terbentuk dengan pengujian *rotary bending* dan *reversed bending*. Pengujian *reversed bending* juga dilakukan pada tegangan puntir tetap. Akibat kombinasi beban lentur dan puntir pada pengujian *rotary bending*, retak mengkilap dan patahan berbentuk *helical* dengan sudut inklinasi proporsional terhadap besarnya puntiran.

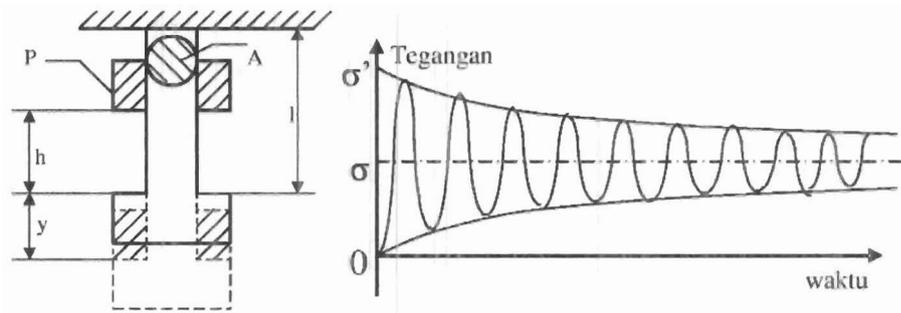
E. Kegagalan Tarik

Menurut Dieter (1986), Tiga faktor dasar yang menyebabkan terjadinya kegagalan tarik yaitu:

- Tegangan tarik maksimum yang cukup tinggi.
- Variasi atau fluktuasi tegangan yang cukup besar.
- Siklus penerapan tegangan yang cukup besar.

Variabel lainnya adalah tegangan kombinasi, konsentrasi tegangan, tegangan sisa, struktur metalurgis, suhu, dan korosi yang cenderung mengubah kondisi material. Tahapan kelelahan material terdiri atas *crack initiation*, *crack growth* dan *final fracture* yang bermula pada daerah dengan konsentrasi tegangan yang tinggi. Beban dinamis menyebabkan retak terus merambat hingga sisa penampang tidak mampu lagi menahan beban dan mengalami kegagalan.

Pengujian tarik dilakukan dengan cara memberikan *stress level* tertentu sehingga spesimen uji patah pada beban tertentu pula, kemudian *stress level* diturunkan dan seterusnya. Untuk mendapatkan kurva dibutuhkan beberapa uji terhadap spesimen (Dieter, 1986). Pengaruh beban terhadap tegangan maksimum (Gambar 1) terjadi apabila saat beban bekerja terjadi perpanjangan (y), regangan (ϵ), tegangan (σ) dan berat batang jauh lebih kecil dibanding berat beban (P).



Gambar 1. Mekanisme energi regangan elastis batang uniaksial

Hukum Hooke untuk daerah elastis linier adalah,

$$\sigma_{\max} = E \cdot \epsilon = \frac{E \cdot Y_{\max}}{l} \quad (3)$$

Dan regangan dapat dinyatakan sebagai:

$$Y_{\max} = \frac{\sigma_{\max} \cdot l}{E} \quad (4)$$

Tegangan maksimum statis pada batang adalah,

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{2hEA}{Pl}} \right] \quad (5)$$

dan penggabungan persamaan 3 dan persamaan 2 menghasilkan perpanjangan y , adalah:

$$y_{\max} = \frac{Pl}{AE} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{2hEA}{Pl}} \right] \quad (6)$$

Jadi tegangan maksimum batang pada saat beban tiba-tiba (*suddenly load*), dimana $h=0$, adalah:

$$\sigma_{\max} = 2 \frac{P}{A} = 2\sigma_{\max} \quad (7)$$

Karena luas penampang batang diasumsikan tetap, maka besarnya beban yang dirasakan batang pada saat beban P bekerja adalah dua kali beban tersebut, seperti ditunjukkan pada persamaan dibawah ini,

$$P_s = 2P \quad (8)$$

F. Analisa Patahan.

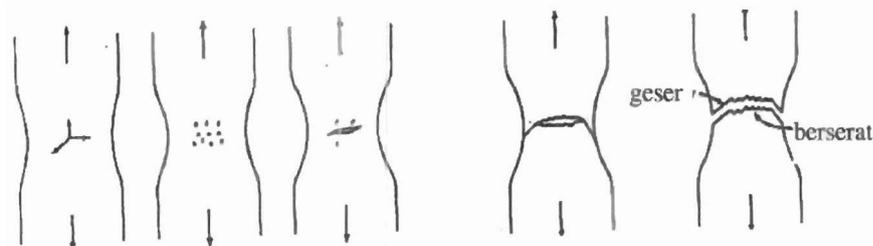
Penyebab patahnya logam dapat diketahui lewat *fractography* dengan mengamati permukaan patahan. Jika bentuk patahannya rata dan mengkilap, ini kemungkinan patah getas (*brittle fracture*). Patah getas ini biasanya disebabkan *fatigue loading* (baik amplitudo konstan atau amplitudo berubah). Jika patahannya berbentuk "cup and cone", ini kemungkinan patah ulet (*ductile fracture*). Hardening (dengan strain rate rendah) dan tempering (dalam durasi tertentu) dapat meningkatkan kekuatan logam. Kekuatan ini diukur dengan dua parameter, yaitu kekuatan luluh (*yield strength*) dan kekuatan maksimum (*ultimate strength*).

Perpatahan merupakan pemecahan atau pemisahan suatu benda padat (solid) menjadi dua bagian yang diakibatkan adanya tegangan. Proses terjadinya

patah (gagal) diawali dari retak yang berlanjut ke penjalaran retak. Secara umum kriteria patah dikelompokkan pada dua golongan yaitu patah getas dan patah liat (Djaprie, 1993)

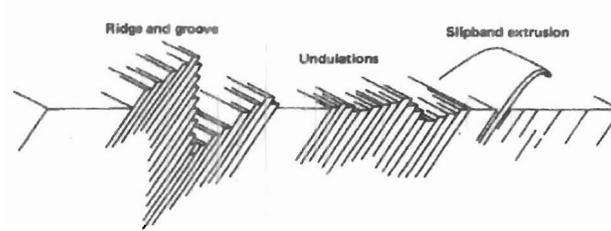
Patah liat pada pengujian tarik uniaksial, biasanya menunjukkan adanya reduksi luas penampang secara lokal atau *necking*. Harga reduksi luas penampang secara lokal atau *necking* dapat mengidentifikasi tingkat keliatan material. Besarnya reduksi luas penampang adalah perbandingan antara luas penampang patahan terkecil dibagi dengan luas penampang mula-mula.

Patah liat akibat beban statis dapat dilihat dari bentuk kontour penampang patahannya. Pembebanan statis menyebabkan deformasi statik, akibatnya terjadi pergelinciran struktur pita halus sehingga menghasilkan kontour penampang permukaan material seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Kontour patahan yang terjadi akibat beban dinamik dapat berupa intrusi (takik) dan ekstrusi.

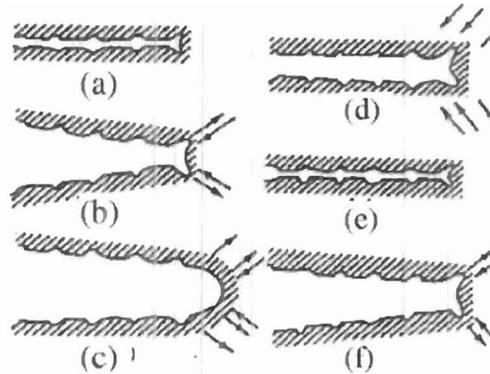


Gambar 2. Tahapan patah liat akibat beban tarik statis uniaksial (Dieter, 1986)

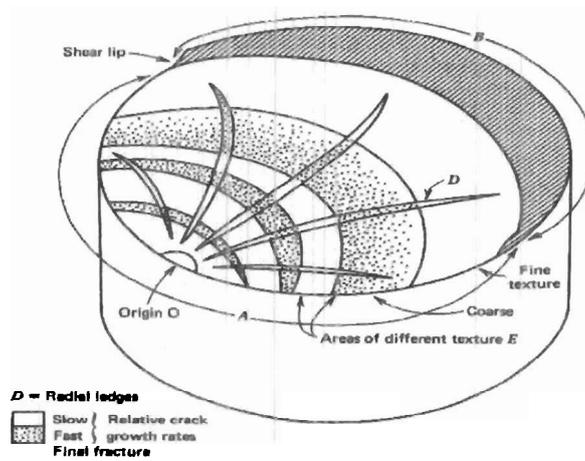
Perambatan retak pada daerah II terjadi akibat proses penumpukan plastis, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Pada awalnya retak tajam, akibat beban tarik, ujung takik mengalami pergelinciran dengan arah 45° . Seiring dengan pelebaran retakan hingga maksimum, retakan tersebut bertambah panjang akibat pergeseran plastis, dan pada saat yang sama retak menumpul (Gambar 4). Apabila beban berubah menjadi tekan, arah pergelinciran pada daerah ujung berbalik. Kedua permukaan retakan saling berinteraksi, dan permukaan retakan baru yang terbentuk ditekan kebidang retakan, hingga membentuk ujung retak yang tajam.



Gambar 3. Deformasi mikro menyebabkan terjadinya retakan intruksi dan ekstruksi (Collins, 1981)



Gambar 4. Proses penumpukan plastik pada perambatan retak tahap II (Dieter, 1986)



Gambar 5. Penampang tahapan retak (Collins, 1981)

Kegagalan tarik dapat ditunjukkan oleh aspek-aspek sebagai berikut:

- a. Sisi-sisi retak awal jelas dan perambatan retak ditunjukkan oleh *beach mark*
- b. Daerah patah akhir jelas (*final failure*).
- c. Daerah perambatan retak menunjukkan kontour berbentuk ellips atau lingkaran.

G. Pertanyaan Penelitian

Pembebanan yang terjadi pada poros roda kendaraan oleh gaya luar, maka akan berubah bentuk (*deformasi*) sehingga menimbulkan tegangan dan regangan. *Geometri* benda sangat berpengaruh pada distribusi tegangan. Tegangan akan terkonsentrasi pada daerah-daerah dimana terjadi perubahan bentuk yang tiba-tiba seperti pada takikan. Apabila sebuah poros terdapat takik dengan pemberian gaya maka akan terjadi pemusatan tegangan disekitar takikan. Dalam bidang konstruksi mesin, perlu dikaji faktor konsentrasi tegangan, karena hal tersebut berhubungan dengan tingkat kegagalan suatu elemen mesin. Untuk mengetahui dan menganalisis besarnya tegangan yang terjadi akibat adanya takik pada perencanaan material poros baja karbon St. 60 perlu diteliti lebih lanjut. Bagaimanakah kekuatan tarik material baja karbon St.60 yang mempunyai bentuk takik-U dan takik-V sebagai material poros. Sehingga bentuk takik ini akan mempengaruhi konsentrasi tegangan.

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

A. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Membuktikan pengaruh bentuk takikan terhadap kekuatan tarik pada material poros baja karbon St. 60 akibat konsentrasi tegangan di daerah takikan.
2. Mengidentifikasi patahan akibat beban tarik pada daerah takikan.

B. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi kepada dunia industri tentang properties baja karbon St.60.
2. Memberikan masukan kepada masyarakat dan industri tentang penggunaan baja karbon sebagai komponen mesin
3. Memberikan inovasi pengembangan penelitian dilingkungan akademik.

100/Hd/2011-0.1 (1)
621.82
Mul
a.1

BAB IV METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian yang dilakukan adalah jenis penelitian eksperimen, dimana hasil pengujian diperoleh melalui percobaan langsung terhadap benda uji. Berdasarkan pokok masalah yang di bahas dalam bab sebelumnya, maka data diperoleh melalui hasil pengujian tarik terhadap material poros baja karbon St.60, dilanjutkan dengan pengamatan dan analisa terhadap data yang diperoleh dari pengujian di laboratorium.

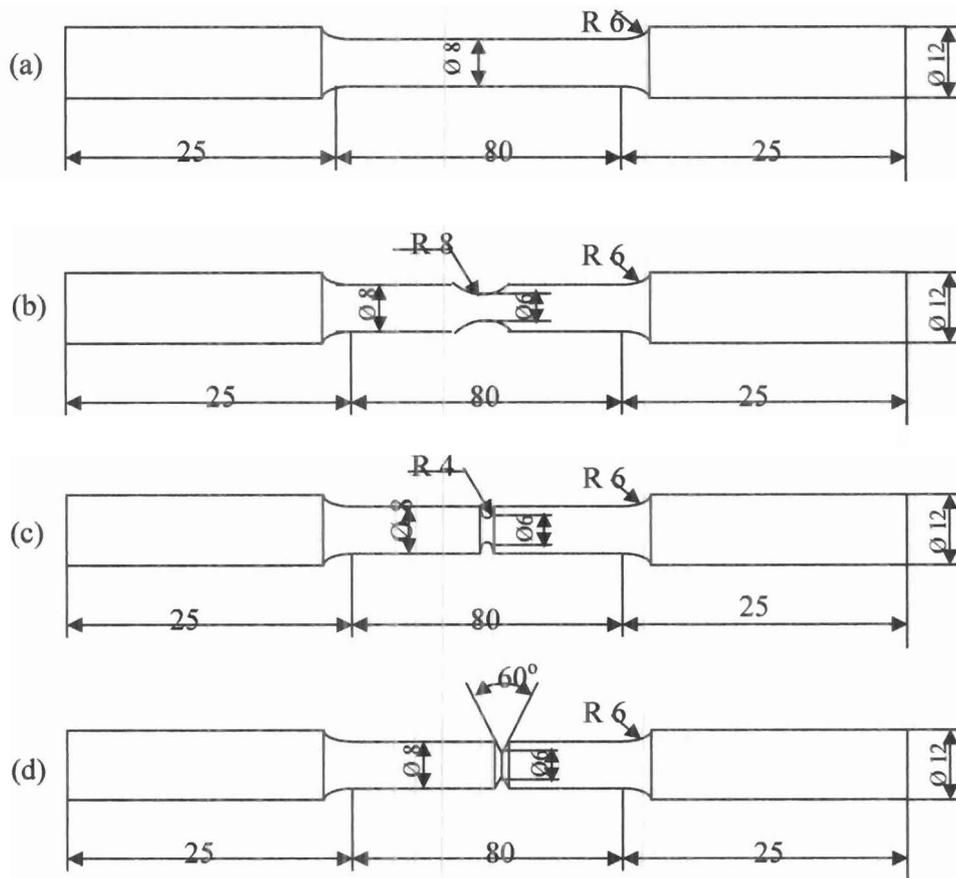
B. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan selama 4 (empat) bulan. Tempat pelaksanaan penelitian yaitu pembuatan spesimen uji di Labor Pemesinan dan pengujiannya dilaksanakan di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Padang dan Politeknik Unand.

C. Bahan

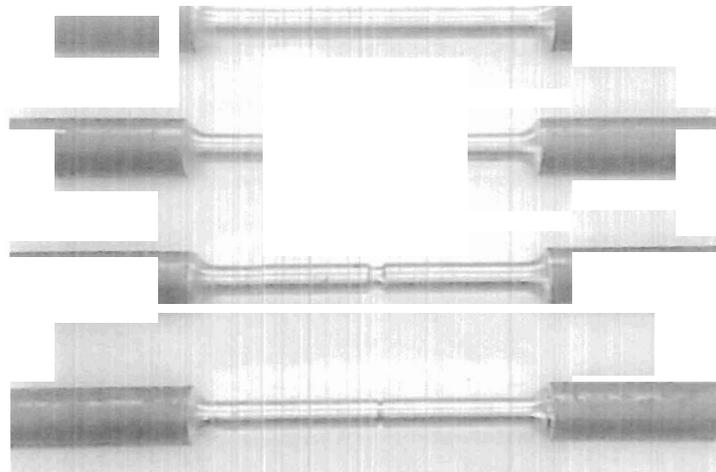
Bahan poros yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon menengah (*medium carbon steel*) St. 60 yang berbentuk *round bar* dengan komposisi kimianya: C 0.46%; Si 0.24%; Mn 0.66%; P 0.013%; S 0.008%. Pembuatan spesimen uji sesuai standard ASTM A370 dan disesuaikan dengan perlengkapan pada mesin uji tarik. Spesimen uji dibuat dengan mesin bubut, dimana pembuatan takiknya mempergunakan pahat bubut radius 4 mm dan 8 mm serta pahat bubut bersudut 60° . Geometri dan dimensi spesimen uji diperlihatkan pada Gambar 6 dan 7. Spesimen uji untuk masing-masingnya sebanyak 5 buah.

UNIVERSITAS NEGERI PADANG



Gambar 6. Geometrid an Dimensi Spesimen uji tarik ASTM A370

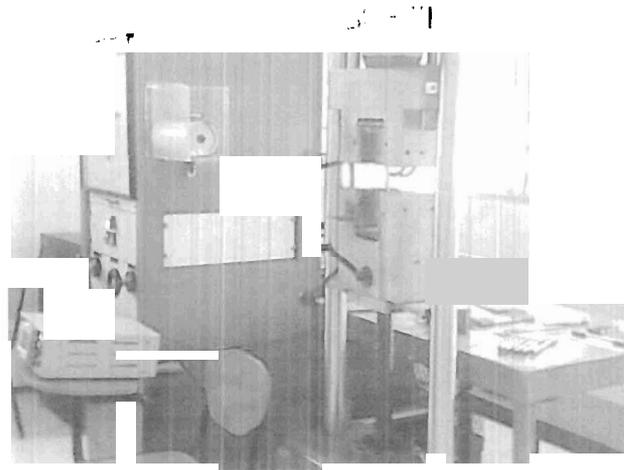
- (a). Tanpa Takik (c). Bertakik U, $K_t=1,1$
 (b). Bertakik U, $K_t= 1$ (d) bertakik V , $K_t= 1,49$



Gambar 7. Spesimen uji tarik Baja Karbon St. 60

D. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain Mesin uji tarik (*Tension Testing Machine*). Mesin ini digunakan untuk pengujian tarik statis seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Data yang diperoleh dari pengujian ini adalah kekuatan luluh serta kekuatan tarik material uji tarik standar kemudian data hasil pengujian tarik spesimen bertakik digunakan sebagai pembanding. Hasil patahan dari pengujian tarik akan diamati melalui mikroskop digital untuk melihat struktur makro dari spesimen uji.

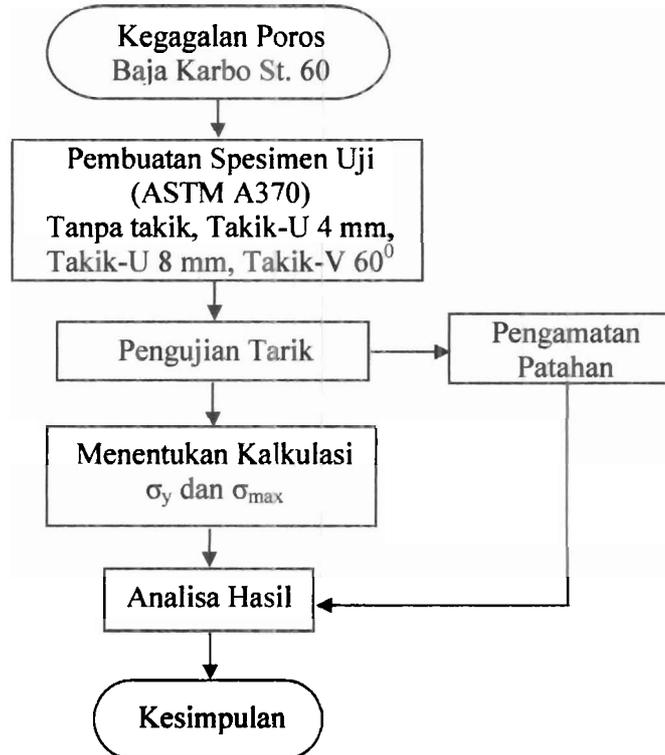


Gambar 8. Tension Testing Machine (Universal Unit)

E. Metode Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan pembuatan spesimen uji tarik sesuai standar ASTM A370 tanpa takik dengan pemesinan. Sebagian spesimen uji dibentuk takik-U dan takik-V pada bagian tengah batang uji. Dengan persamaan yang ada bentuk takik merupakan pendekatan kondisi konsentrasi tegangan. Kemudian dilakukan pengujian tarik terhadap spesimen standar tanpa takik dan spesimen bertakik-U radius 4 mm dan 8 mm serta bertakik-V 60°. Pengujian tarik pada spesimen tanpa takik dimaksudkan untuk mengetahui besarnya tegangan luluh dan tegangan tarik maksimum material baja karbon St. 60 pada setiap perlakuan. Sedangkan pengujian tarik spesimen bertakik dilakukan untuk mengetahui besarnya tegangan tarik maksimum akibat adanya konsentrasi tegangan. Data yang diperoleh akan dibandingkan dan menjadi fokus pengamatan

dalam melihat pengaruh faktor konsentrasi tegangan. Untuk memperlancar kegiatan penelitian maka dibuat diagram alir pelaksanaan penelitian seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram alir Penelitian

F. Pengamatan dan Pengolahan Data

Pengolahan data pengujian dilakukan dengan matematis statistik menggunakan persamaan yang ada. Berdasarkan hasil penelitian yang telah diuraikan pada tinjauan pustaka, maka pengamatan yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengaruh peningkatan faktor konsentrasi tegangan tarik pada takik. Kondisi ini akan mempengaruhi ketahanan material dimana dapat menurunkan atau menaikkan. Namun terjadinya perubahan struktur mikro pada pengamatan patahan yang terjadi sehingga akan meningkatkan duktilitas material serta peningkatan kekuatan tarik akibatnya ketahanan material juga meningkat. Selanjutnya penampang patahan hasil pengujian akan menunjukkan dengan jelas aspek-aspek patah tarik dalam pola pembentukan retak, pola perambatan retak dan pola patah akhirnya.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

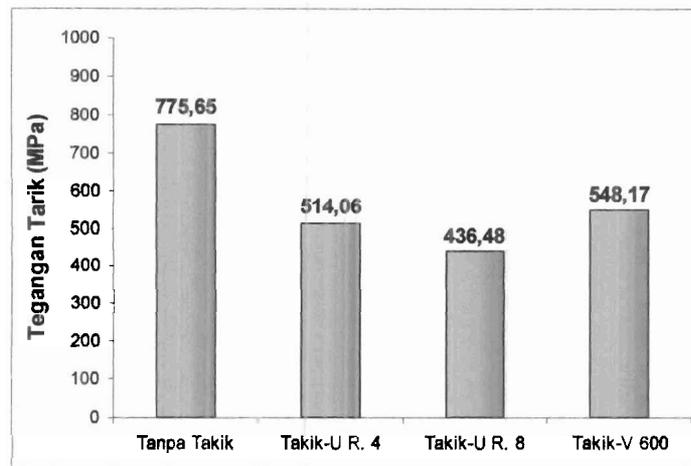
Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan kekuatan tarik dari material baja karbon St. 60 dengan berbagai variasi bentuk takik. Bentuk takik pada spesimen uji merupakan pendekatan konsentrasi tegangan pada poros baja karbon. Takik-U dan takik-V bersudut dibentuk sesuai standar ASTM A-370. Penelitian yang dilakukan memberikan informasi tentang hasil pengujian tegangan tarik material baja karbon St.60 yang dipengaruhi oleh konsentrasi tegangan (K_t). Takik-U radius 4 mm dengan $K_t = 1,1$; takik-U radius 8 dengan $K_t = 1,1$; takik-V 60° $K_t = 1,49$.

A. Pengujian tarik statik

Pengujian tarik statik yang dilakukan pada penelitian ini untuk mengetahui sifat mekanik material poros baja karbon St.60. Harga modulus elastisitas (E) spesimen baja karbon St.60 diperoleh berdasarkan pencatatan hubungan grafik beban F dan pertambahan panjang Δl . Gaya F yang dihasilkan di ubah ke bentuk tegangan, dengan membagi gaya F terhadap luas penampang spesimen yang di uji tarik. Regangan diperoleh dengan membagi pertambahan panjang Δl terhadap panjang spesimen uji l . Dengan menerapkan berbagai persamaan Hukum Hooke (*Hooke Law*) maka diperoleh tabulasi data hasil pengujian seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 2. Hasil Pengujian Tarik Spesimen

Spesimen Uji	Tegangan Tarik rata-rata (MPa)	Regangan Tarik rata-rata (mm/mm)	Modulus Elastisitas (GPa)
Tanpa Takik	775,65	0,179	210,0
Takik-U Radius 4 mm	514,06	0,042	207,1
Takik-U Radius 8 mm	436,48	0,032	206,8
Takik-V 60°	548,17	0,052	210,4



Gambar 10. Grafik Tegangan Tarik

Dari hasil pengujian yang diperoleh menunjukkan bahwa kekuatan tarik baja karbon St.60 berbeda dengan adanya takikan yang diberikan. Pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa tegangan tarik rata-rata yang dihasilkan dari pengujian tarik menunjukkan adanya pengaruh konsentrasi tegangan yang divariasikan bentuk takiknya. Spesimen yang tanpa takik tegangan tarik rata-ratanya sebesar 775,65 MPa. Dengan adanya bentuk takik maka akan mempengaruhi kekuatan tarik dari material yang beraplikasi adanya konsentrasi tegangan pada batang. Jika dibandingkan dengan spesimen yang tanpa takikan maka menunjukkan bahwa tegangan tarik maksimum dipengaruhi oleh adanya takikan. Dari ketiga bentuk takik yang divariasikan maka bentuk takikan yang bersudut lebih mampu menahan beban tarik yang terjadi. Tegangan tarik spesimen bertakik V 60° diperoleh nilai rata-rata sebesar 548,17 MPa. Bentuk takik-U radius 4 mm lebih besar yaitu tegangan tarik rata-ratanya 514,06 MPa dibandingkan dengan takik-U radius 8 mm yaitu tegangan tarik rata-ratanya 436,48 MPa.

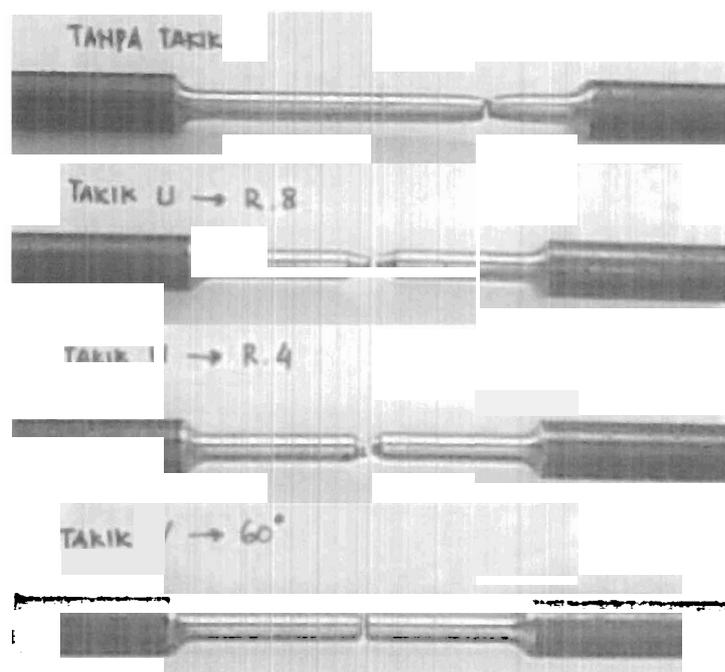
Dari kondisi ini menunjukkan bahwa dalam setiap perencanaan poros harus diperhatikan dan dipertimbangkan konsentrasi tegangan yang terjadi akibat adanya bentuk takik (tempat pasak atau baji, *alur*, *spline*). Konsentrasi tegangan (variasi bentuk takik) akan menurunkan kekuatan tarik yang mengakibatkan kegagalan dari material poros baja karbon St. 60. Hal ini terbukti dari pengujian

yang dilakukan dimana tegangan tarik maksimum masing-masing spesimen uji yang diberi variasi bentuk takik nilainya menurun dibandingkan dengan tegangan tarik spesimen tanpa takik. Dengan demikian kegagalan sebuah poros baja karbon St.60 yang memiliki takik (tempat pasak atau baji, *alur, spline*) cenderung akan terjadi dan terpusat di daerah takikan tersebut.

B. Pengamatan Patahan

Dari pengujian tarik yang dilakukan, patahan yang terjadi menunjukkan akibat beban tarik (Gambar 11). Perpatahan akibat beban tarik terjadi pemecahan atau pemisahan suatu batang menjadi dua bagian yang diakibatkan adanya tegangan. Proses terjadinya patah (gagal) diawali dari retak yang berlanjut ke penjalaran retak (*crack propagation*).

Bentuk patahan yang terjadi adalah patah liat dimana adanya reduksi luas penampang secara lokal atau *necking*. Reduksi luas penampang secara lokal atau *necking* menunjukkan tingkat keliatan material. Besarnya reduksi luas penampang adalah perbandingan antara luas penampang patahan terkecil dibagi dengan luas penampang mula-mula. Patah liat akibat beban statis dapat dilihat dari bentuk kontour penampang patahannya (Gambar 12). Pembebanan statis menyebabkan deformasi statik, akibatnya terjadi pergelinciran struktur. Perambatan retak pada daerah *necking* terjadi akibat proses penumpulan plastis. Pada awalnya retak tajam, akibat beban tarik, ujung takik mengalami pergelinciran dengan arah 45°. Seiring dengan pelebaran retakan hingga maksimum, retakan tersebut bertambah panjang akibat pergeseran plastis, dan pada saat yang sama retak menumpul. Apabila beban berubah menjadi tekan, arah pergelinciran pada daerah ujung berbalik. Kedua permukaan retakan saling berinteraksi, dan permukaan retakan baru yang terbentuk ditekan kebidang retakan, hingga membentuk ujung retak yang tajam.



Gambar 11. Perpatahan Spesimen setelah Pengujian Tarik



Gambar 12. Penampang Patahan Liat

Hal ini sesuai dengan pernyataan Dieter, 1986 dimana perpatahan diawali dengan adanya pengecilan penampang (*necking*), akibat beban tarik uniaksial menyebabkan deformasi statik dan pergelinciran struktur sehingga pada ujung patahan berbentuk kontour yang tajam dan tertarik. Dengan demikian patahan yang terjadi adalah patahan liat. Bahan liat tidak terlalu sensitif terhadap takikan dan dimungkinkan terjadi penguatan karena takikan. Tegangan luluh tarik dari bahan liat kemungkinan akan meningkat dengan adanya sebuah takikan yang berhubungan dengan pembatasan (*constraint*)

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Penurunan kekuatan tarik material baja karbon St. 60 akibat peningkatan konsentrasi tegangan di daerah takikan dapat dibuktikan. Bentuk takikan menimbulkan konsentrasi tegangan dan mempengaruhi kekuatan tarik material baja karbon St. 60. Tegangan tarik spesimen batang bertakik-V 60⁰ diperoleh nilai rata-rata sebesar 548,17 MPa. Bentuk takik-U radius 8 mm diperoleh nilai tegangan tarik rata-rata sebesar 436,48 MPa. Bentuk takikan bersudut (takik-V) menjadi sebab terjadinya tegangan setempat yang lebih tinggi (pemusatan tegangan / konsentrasi tegangan) dibandingkan takik-U. Konsentrasi tegangan (variasi bentuk takik) akan menurunkan kekuatan tarik yang mengakibatkan kegagalan dari material poros baja karbon St. 60.
2. Penampang patahan akibat beban tarik dapat diidentifikasi dengan bentuk akhir patahan yang terjadi. Hal ini menunjukkan patahan yang terjadi adalah patahan liat dimana adanya reduksi luas penampang secara lokal atau *necking*. Reduksi luas penampang secara lokal atau *necking* menunjukkan tingkat keliatan material. Pembebanan statis menyebabkan deformasi statik, akibatnya terjadi pergelinciran struktur. Permukaan retakan yang terbentuk ditekan ke bidang retakan, hingga membentuk ujung retak yang tajam.

B. Saran

Kegiatan penelitian yang telah dilaksanakan masih dapat dilanjutkan lagi untuk mendapatkan kajian yang lebih spesifik mengenai struktur mikro dan kekuatan lelah material baja karbon St. 60. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi dalam perencanaan elemen mesin dan penggunaan baja karbon yang mendapat beban berlebih dan konsentrasi tegangan, menjadi referensi dalam pengembangan penelitian dilingkungan akademik dan masyarakat.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

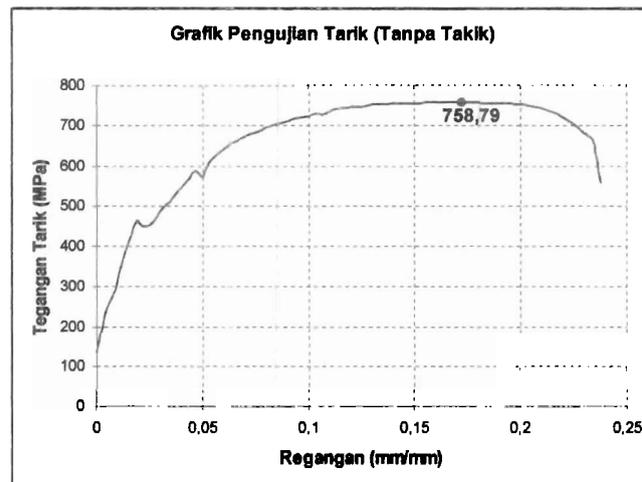
- ASTM A 370, (1999). "Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Product".
- Boresi, A.P., Schmidt, R.J., Sidebottom, O.M., (1993). "Advanced Mechanics of Materials", 5 ed, Jhon Wiley & Sons, Inc, USA
- Broek, D., (1987). "Elementary Engineering Fracture Mechanics", 4 ed, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Collins, J.A., (1981). "Failure of Materials in Mechanical Design", Jhon Wiley & Sons, USA.
- Dieter. G., (1986). Mechanical Metallurgy, 3th edition, Mac Graw Hill, New York.
- DuQuesnay, D.L., MacDougall, C, Dayabeh, A. and Topper, T.H., (1995). "Notch Fatigue Behavior as Influenced by Periodic Overloads", Int. J. Fatigue, Vol.17, No. 2. pp. 91-99.
- Fonte, M.A. and Freitas, M.M., (1997). "Semi-Elliptical Fatigue Crack Growth Under Rotation or Reversed Bending Combined with Steady Torsion", ", Fatigue and Fract. Engng. of Mater, and Struct. Vol. 20, No. 6, pp.895-906.
- Goto, M. and Nissitani, H., (1994). "Fatigue Life Prediction of Heat-Treated Carbon Steel and Low Alloy Steels Based on Small Crack Growth Law", Fatigue and Fract. Engng. of Mater, and Struct. Vol. 17, No. 2, pp. 171-185.
- Hua, G. and Fernando, U.S., (1996). "Effect of Non-Proportional Overloading on Fatigue life", Fatigue and Fract. Engng. of Mater, and Struct. Vol. 19, No. 10, pp. 1197-1206.
- Rodesri Mulyadi. (2004). "Karakteristik Lelah Baja Karbon Rendah Bertakik U Akibat Beban Fluktuasi", Prosiding Seminar Nasional Teknologidan Aplikasi Piping Engineering, UGM, 2004.
- Setiyono, H.,1999. "Metoda Analisis Perilaku Kelelahan Material Baja Karbon Akibat Pengaruh Beban Lentur Putar (Rotating Bending Loads)", Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, Serpong, 105-112.
- Shul'ginov, B.S. and Mateyev, V.V., 1997, "Impact Fatigue of Low-Alloy Steels and Their Welded Joints at Low Temperature", Int. J. Fatigue, Vol. 19, Nos. 8-9. 621-627.

- Sriati Djafri. (1987) "Metalurgi Mekanik" Edisi Ketiga, Erlangga, Indonesia
- Surdia, T., Chijiwa, K., (1992), "Teknik Pengecoran Logam", PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Taylor, D., Hughes, M. and Allen, D., (1996). "Notch Fatigue in Cast Iron Explained Using A Fracture Mechanics Approach", Int. J. Fatigue, Vol. 18, No. 7, pp. 439-445.
- Timing R.L. (1998).
- Widyanto, S.A. dan Jamasri, 2001, "Pengaruh Bentuk Takik Baja Poros Terhadap Kekuatan Lelah Pada Pembebanan Puntir", Jurnal Media Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, No.3, Thn XXIII
- Yang, P., Liao, L., Zhu, J. and Zhou, H., 1994, "High Strain-Rate Low Cycle Impact Fatigue of a Medium-Carbon Alloy Steel", Vol. 16, pp. 327-330.
- Yang, P. and Zhou, H., 1994, "Low Cycle Impact Fatigue of Mild Steel and Austenitic Stainless Steel", Int. J. Fatigue, Vol. 16, pp. 567-570.

LAMPIRAN 1. Tabel dan Grafik Hasil Pengujian

Tabel 2. Hasil Pengujian Tarik Spesimen Tanpa Takik

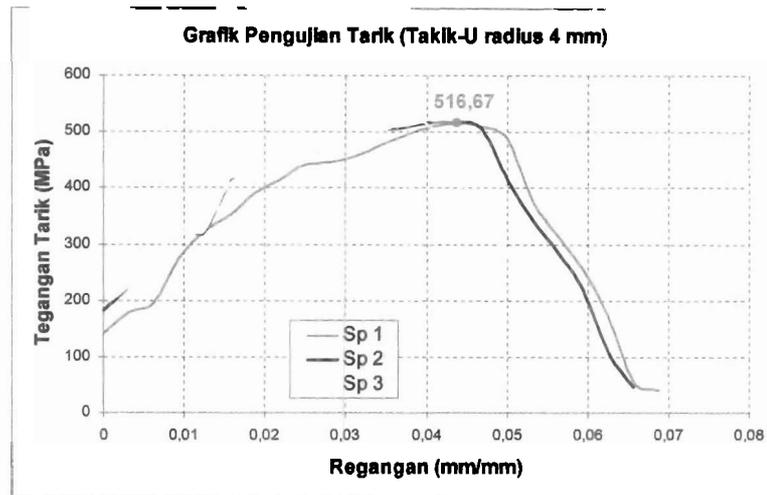
Spesimen	Panjang Awal (L ₀) (mm)	Panjang Akhir (L _i) (mm)	Diameter awal (mm)	Diameter Akhir (mm)	Luas Penampang (A) (mm)	Beban (F) (N)	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan (mm/mm)	Modulus Elastisitas (GPa)
1	80	93,95	8	5,8	50,24	38121,66	758,79	0,174	209,84
2	80	93,70	8	5,9	50,24	38867,22	773,63	0,171	208,73
3	80	95,35	8	5,7	50,24	39916,89	794,52	0,192	211,56
Rata-rata						38968,59	775,65	0,179	210,04



Grafik Tegangan vs Regangan Pengujian Tarik (Tanpa Takik)

Tabel 3. Hasil Pengujian Tarik Spesimen Takik-U Radius 4 mm

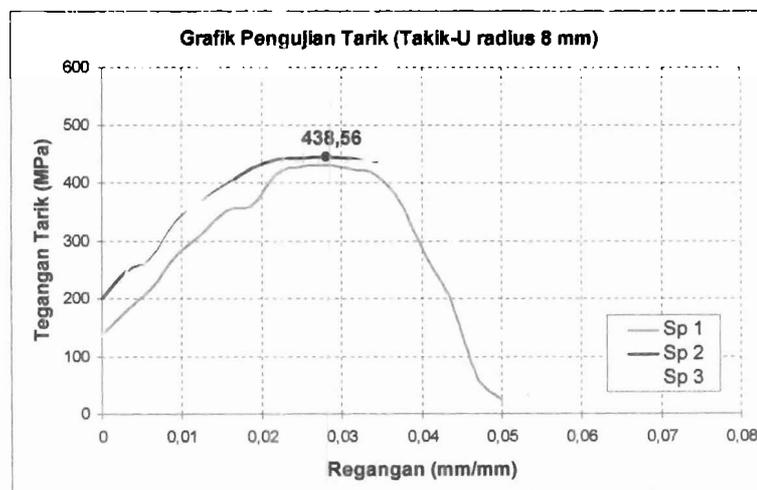
Spesimen	Panjang Awal (L ₀) (mm)	Panjang Akhir (L _i) (mm)	Diameter Spesimen (mm)	Diameter Awal takik (mm)	Diameter Akhir Takik (mm)	Luas Penampang (A) (mm)	Beban (F) (N)	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan (mm/mm)	Modulus Elastisitas (GPa)
1	80	83,50	8	6	4,70	50,24	25957,26	516,67	0,044	209,9
2	80	83,20	8	6	4,68	50,24	25947,45	516,47	0,040	208,5
3	80	82,95	8	6	4,76	50,24	25574,67	509,05	0,043	202,7
Rata-rata							25826,46	514,06	0,042	207,1



Grafik Tegangan vs Regangan Pengujian Tarik (Takik-U radius 4 mm)

Tabel 4. Hasil Pengujian Tarik Spesimen Takik-U Radius 8 mm

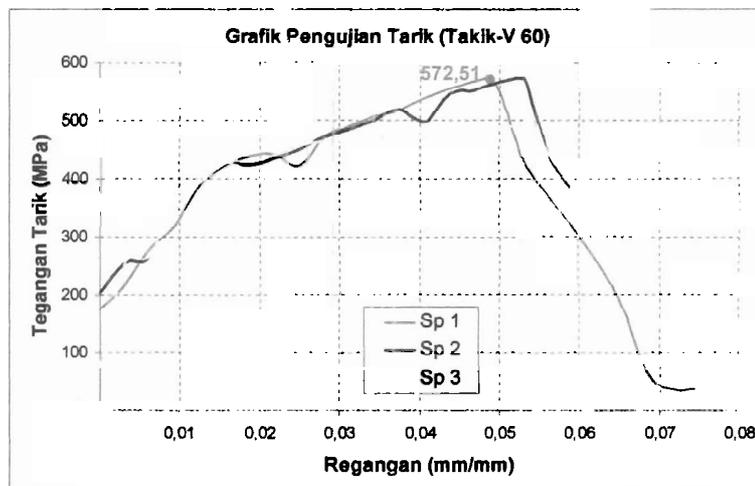
Spesimen	Panjang Awal (L ₀) (mm)	Panjang Akhir (L _i) (mm)	Diameter Spesimen (mm)	Diameter Awal takik (mm)	Diameter Akhir Takik (mm)	Luas Penampang (A) (mm ²)	Beban (F) (N)	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan (mm/mm)	Modulus Elastisitas (GPa)
1	80	82,15	8	6	4,75	50,24	21719,34	432,31	0,027	208,8
2	80	82,80	8	6	4,55	50,24	22033,26	438,56	0,035	202,6
3	80	82,70	8	6	4,63	50,24	22033,26	438,56	0,035	209,1
Rata-rata							21928,62	436,48	0,032	206,8



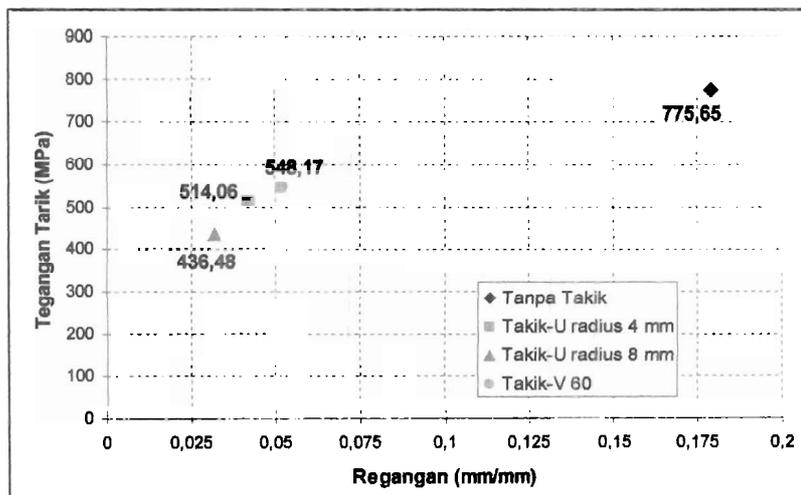
Grafik Tegangan vs Regangan Pengujian Tarik (Takik-U radius 8 mm)

Tabel 5. Hasil Pengujian Tarik Spesimen Takik-V 60°

pesimen	Panjang Awal (L ₀) (mm)	Panjang Akhir (L _i) (mm)	Diameter Spesimen (mm)	Diameter takik (mm)	Diameter Akhir Takik (mm)	Luas Penampang (A) (mm)	Beban (F) (N)	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan (mm/mm)	Modulus Elastisitas (GPa)
1	80	83,90	8	6	5,50	50,24	28762,92	572,51	0,049	209,3
2	80	84,20	8	6	5,45	50,24	28753,11	572,32	0,053	210,1
3	80	84,35	8	6	5,48	50,24	25103,79	499,68	0,054	211,9
Rata-rata							27539,94	548,17	0,052	210,4



Grafik Tegangan vs Regangan Pengujian Tarik (Takik-V 60°)



Grafik Tegangan Tarik dan Regangan Rata-rata

LAMPIRAN 2. Kalkulasi Perhitungan

A. Perhitungan Tegangan:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

dimana:

F = Gaya (38121,66 N)

D₀ = Diameter Awal Batang Uji (8 mm)

A = Luas Penampang (mm²)

$$= \frac{\pi}{4} D_0^2 = \frac{\pi}{4} (8)^2 = 50,24 \text{ mm}^2$$

maka:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{38121,66}{50,24} = 758,79 \text{ MPa}$$

B. Perhitungan Regangan

$$\varepsilon = \frac{L_i - L_0}{L_0}$$

dimana:

L₀ = Panjang Batang Uji sebelum pengujian (80 mm)

L_i = Panjang Batang Uji sesudah pengujian (93,95 mm)

maka:

$$\varepsilon = \frac{L_i - L_0}{L_0} = \frac{(93,95) - (80)}{80} = 0,174 \text{ mm/mm}$$

C. Perhitungan Modulus Elastisitas:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

dimana:

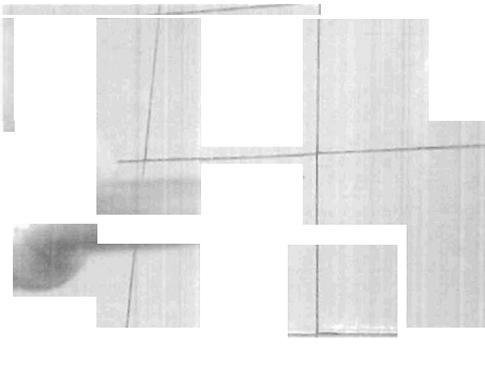
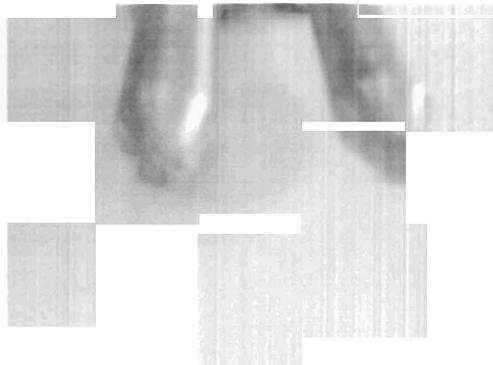
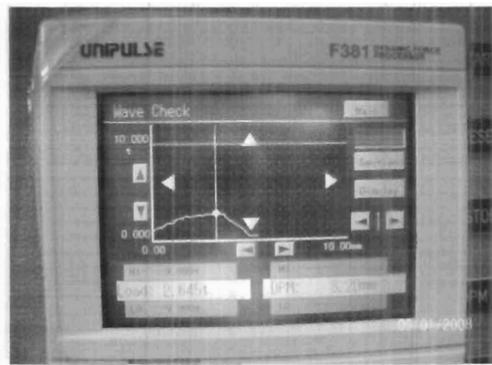
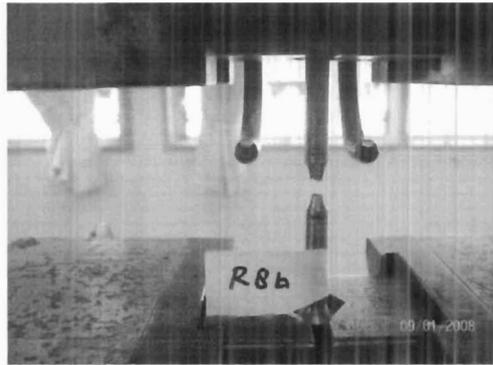
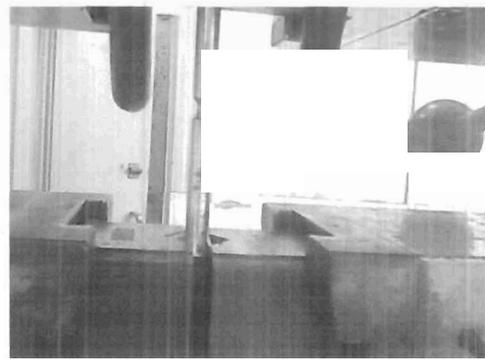
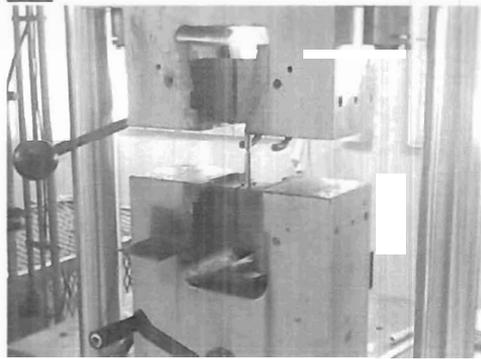
σ = Tegangan Tarik (758,79 MPa)

ε = Regangan Tarik (0,174 mm/mm)

maka:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{758,79}{0,174} = 209,3 \times 10^3 \text{ MPa} = 209,3 \text{ GPa}$$

LAMPIRAN 3. Dokumentasi Kegiatan



LAMPIRAN 2. Kalkulasi Perhitungan

A. Perhitungan Tegangan:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

dimana:

F = Gaya (38121,66 N)

D₀ = Diameter Awal Batang Uji (8 mm)

A = Luas Penampang (mm²)

$$= \frac{\pi}{4} D_0^2 = \frac{\pi}{4} (8)^2 = 50,24 \text{ mm}^2$$

maka:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{38121,66}{50,24} = 758,79 \text{ MPa}$$

B. Perhitungan Regangan

$$\varepsilon = \frac{L_i - L_0}{L_0}$$

dimana:

L₀ = Panjang Batang Uji sebelum pengujian (80 mm)

L_i = Panjang Batang Uji sesudah pengujian (93,95 mm)

maka:

$$\varepsilon = \frac{L_i - L_0}{L_0} = \frac{(93,95) - (80)}{80} = 0,174 \text{ mm/mm}$$

C. Perhitungan Modulus Elastisitas:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

dimana:

σ = Tegangan Tarik (758,79 MPa)

ε = Regangan Tarik (0,174 mm/mm)

maka:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{758,79}{0,174} = 209,3 \times 10^3 \text{ MPa} = 209,3 \text{ GPa}$$