

PERILAKU TARIK BAJA STRUKTURAL DENGAN VARIASI LAJU CROSSHEAD

Anggit Murdani

Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang
Jl. Soekarno Hatta No.9 Malang 65141
Tlp: 0341- 404424 ; Fax : 0341-404420
E-mail : anggitm@poltek-malang.ac.id

Abstract

The objective this research is to investigate the effect of crosshead speed on the tensile behavior of the structural steel which is presented in stress-strain diagram. The experiments were carried out by performing tensile testing of specimens with various crosshead speeds. The crosshead speed was determined by a dial position of 0.2, 0.5, 1, and 2 on the testing machine. In load-free condition, the dial positions give true speed of the crosshead of 0.042 mm/s, 0.27 mm/s, 0.663 mm/s, and 1.354 mm/s respectively. The material used in this research is a structural steel which is comparable to the standard of DIN ST37. The result shows that the various crosshead speeds give a different response of the strain rate during the test. The strain rate, which is resembled by the crosshead speed, begins to increase at the yield point. Also, the ultimate stress of the specimens is affected by the crosshead speed. The ultimate stress of the specimens with dial position of 2 increases approximately 25% from that of with dial position of 0.2.

Keywords : *tensile behavior, crosshead speed, strain rate*

PENDAHULUAN

Laju regangan merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap perilaku bahan pada berbagai macam pengujian mekanik [1]. Salah satu pengujian mekanik yang penting adalah pengujian tarik. Sehingga hal ini menjadi topik yang sangat penting untuk dipertimbangkan dalam melaksanakan pengujian tarik. Tujuan pengujian tarik suatu bahan tidak hanya sekedar mendapatkan informasi tentang kekuatan tarik bahan tersebut. Lebih jauh, grafik tegangan-regangan yang dihasilkan dari pengujian tarik tersebut dapat menggambarkan perilaku bahan selama mengalami pembebanan tarik. Respon bahan terhadap pembebanan tarik inilah yang juga merupakan faktor yang sangat penting untuk dipertimbangkan dalam desain mesin [2].

Beberapa peneliti telah melakukan kajian dan eksperimen untuk mengetahui pengaruh laju regangan terhadap perilaku tarik [3 - 6]. Perilaku tarik pada berbagai macam bahan telah diteliti dan memberikan informasi yang berharga tentang topik terkait. Namun, semua pengujian yang telah dilakukan tersebut

menyangkut kondisi tertentu. Misalnya, jenis bahan yang digunakan adalah terbatas pada bahan-bahan tertentu dengan kondisi pengujian tertentu pula sehingga setiap pengujian memberikan informasi yang spesifik terkait dengan bahan, metode, dan kondisi yang dipilih. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut menyangkut penggunaan berbagai jenis bahan yang berbeda-beda.

Faktor lain yang berkaitan dengan pengaruh laju regangan adalah mesin uji tarik itu sendiri. Dalam penelitian yang lain juga telah dikaji bagaimana melakukan verifikasi terhadap hasil pengujian tarik terkait dengan kondisi mesin uji tariknya [7]. Hal ini terkait dengan *stiffness* dari mesin uji tarik. Dimana pembebanan diikuti dengan laju regangan yang berbeda akan berpengaruh terhadap perilaku tarik suatu bahan khususnya apabila laju regangan diperoleh berdasarkan pengukuran penambahan panjangnya pada pergerakan *crosshead*. Selain itu, linieritas laju regangan yang diukur berdasarkan kecepatan *crosshead* juga harus diverifikasi untuk setiap mesin yang berbeda.

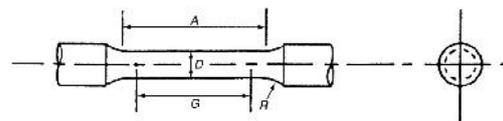
Dalam penelitian ini pengujian tarik dilakukan dengan berbagai kecepatan *crosshead*, khususnya pada pengujian tarik dengan mesin uji tarik yang digerakkan dengan tenaga hidrolis. Kecepatan *crosshead* ini dihubungkan secara langsung dengan laju regangan. Terlebih dahulu dilakukan verifikasi linieritas laju regangan dengan membandingkan kecepatan pergerakan *crosshead* dengan laju regangan yang diukur secara langsung pada spesimen dengan *strain gage*. Secara keseluruhan, pengaruh laju regangan terhadap perilaku tarik baja struktural pada pengujian tarik akan diteliti.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu baja struktural yang setara dengan standar DIN ST37, dimana bahan tersebut mempunyai kekuatan tarik minimum 370 N/mm². Bahan ini dipilih karena secara umum banyak digunakan dalam struktur dan permesinan. Spesimen yang digunakan akan merujuk pada standar ASTM E-8M yang ditunjukkan pada gambar 1. Spesimen yang dibuat berdasarkan standar dengan ukuran diameter spesimen 6 mm (*Small-Size Specimens Proportional to Standard*). Ukuran ini dipilih dengan mempertimbangkan kapasitas dan kondisi mesin uji tarik yang dipakai. Mesin uji tarik yang dipakai digerakkan dengan tenaga hidrolis. Meskipun mesin uji tarik mampu memberi pembebanan sampai dengan 100 kN, namun dengan mempertimbangkan usia, kondisi peralatan pendukung, dan reliabilitas pengujian secara keseluruhan, ukuran spesimen tersebut dianggap aman.

Percobaan dilakukan dalam 5 kondisi pengujian. Dalam salah satu kondisi pengujian, spesimen diberi *strain gage* untuk pembanding pada pengukuran nilai regangan, laju regangan, dan modulus elastisitas. Pengujian dilakukan dengan variasi kecepatan *crosshead*. Penentuan variasi kecepatan *crosshead* ini didasarkan pada ketentuan kisaran laju regangan untuk pengujian tarik yaitu antara 10⁻⁵ per detik sampai dengan 10⁻⁵ per detik [8], serta mempertimbangkan kondisi mesin uji tarik dipakai [7]. Variasi kecepatan *crosshead* yang dipilih yaitu 0,2, 0,5, 1, dan 2. Angka-angka

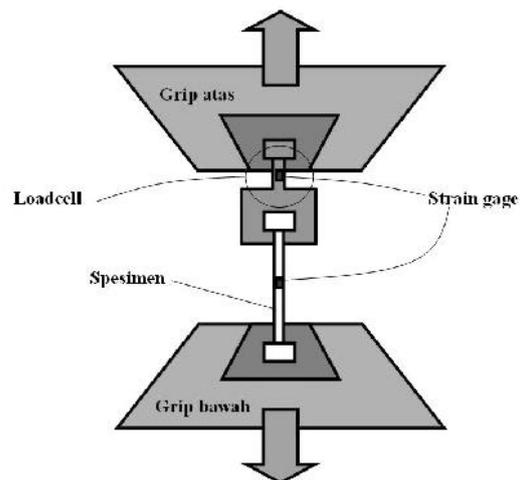
tersebut adalah angka yang tertera pada dial mesin uji tarik. Rincian mengenai spesimen dan kecepatan *crosshead* yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada tabel 1. Konfigurasi pengujian diilustrasikan pada Gambar 2. Sistem instrumentasi dan akuisisi data yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 1 – Spesimen Uji Tarik

Tabel 1 – Kondisi Percobaan

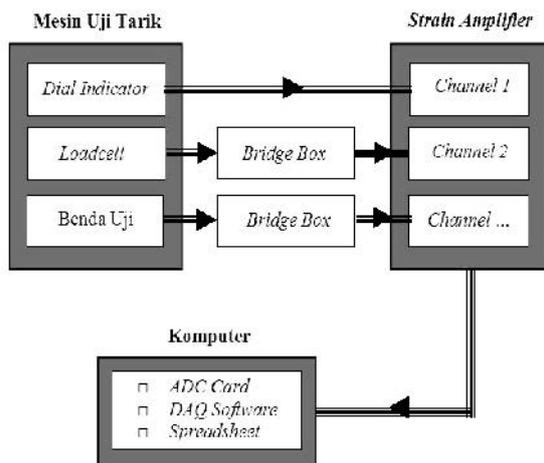
Spesimen	Strain Gage	Kecepatan Crosshead (Posisi Dial)
1	Tidak ada	0,2
2	Tidak ada	0,5
3	Tidak ada	1
4	Tidak ada	2
5	Ada	0,2



Gambar 2 – Konfigurasi Pengujian

Data yang diperoleh melalui perangkat lunak akuisisi data merupakan luaran (*output*) dari *transducer* baik itu dari *loadcell*,

strain gage pada spesimen, maupun *dial indicator*. Luaran tersebut masih dalam bentuk tegangan listrik yang bersatuan volt. Data tersebut selanjutnya dihitung dan dikonversikan sesuai jenisnya. Untuk luaran dari *dial indicator* dihitung dan dikonversikan kedalam satuan panjang yang dalam hal ini digunakan satuan mm. Untuk luaran dari *strain gage* yang terpasang pada benda uji dihitung dan dikonversikan kedalam nilai regangan dalam bentuk tanpa satuan (*dimensionless*) yang dalam hal ini direpresentasikan sebagai mm/mm. Sedangkan untuk luaran yang berasal dari *loadcell* harus dikalibrasi dulu dengan sensor beban yang ada pada mesin uji tarik. Data diolah dengan perangkat lunak *spreadsheet* dan selanjutnya ditampilkan sebagai grafik dengan perangkat lunak lain untuk membuat grafik secara terpisah.



Gambar 3 – Instrumentasi Percobaan

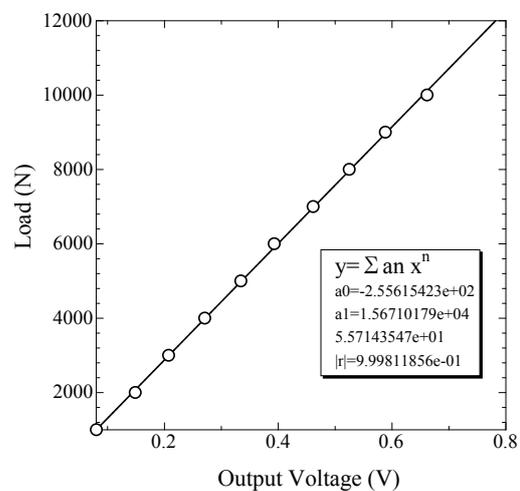
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi Beban

Dari kalibrasi yang telah dilakukan diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa *loadcell* yang dibuat memberikan hubungan yang linier. Hal ini berarti bahwa nilai regangan yang dihasilkan oleh *strain gage* yang dipasang pada batang *stainless steel* menunjukkan hubungan yang linier pula antara perubahan bentuk atau deformasi yang

terjadi pada batang dengan perubahan resistansi pada *strain gage*. Hal tersebut juga mengimplikasikan bahwa desain *loadcell* yang sederhana itu dapat berfungsi dengan baik.

Dengan nilai beban yang dikalibrasikan mulai dari tanpa beban (beban = 0) sampai dengan beban 10 kN dengan peningkatan setiap 1 kN. Hasil kalibrasi ditunjukkan pada gambar 4. Dengan hasil seperti pada gambar 4, *loadcell* yang dibuat representatif untuk mengukur beban yang dikenakan pada benda uji selama pengujian tarik.



Gambar 4 – Grafik Hubungan antara Tegangan Luaran *Strain Gage Loadcell* dan Beban yang Terbaca pada Panel Mesin Uji Tarik

Karakteristik Laju *Crosshead*

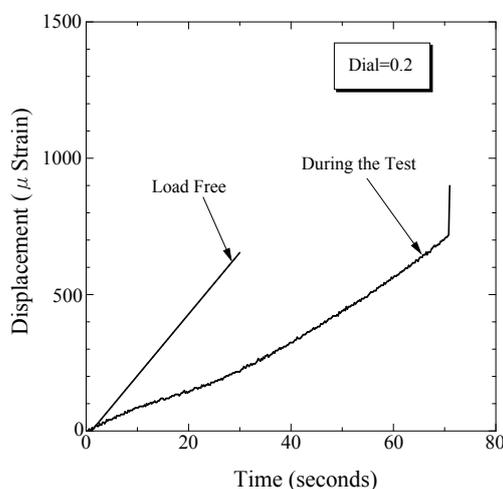
Dari empat variasi kecepatan yang dipilih yaitu 0,2, 0,5, 1, dan 2 pada posisi *dial*, diperoleh hasil pengukuran kecepatan *crosshead* yang ditunjukkan pada tabel 2. Kecepatan *crosshead* bersatuan mm/detik. Nilai kecepatan *crosshead* yang ditunjukkan pada tabel 2 merupakan nilai sesungguhnya dalam keadaan tanpa beban. Namun, kecepatan *crosshead* ketika terjadi pembebanan atau pada saat pengujian tarik berlangsung memberikan nilai yang berbeda dari ketika tidak ada beban (*load-free*). Ketika tidak ada beban, hubungan antara pergeseran *crosshead* dengan waktu adalah linier yang berarti juga bahwa kecepatan

crosshead adalah linier. Sedangkan pada saat pengujian berlangsung, kecepatan *crosshead* berubah-ubah yang mana perubahan tersebut berhubungan dengan besarnya atau kondisi pembebanan. Contoh hubungan ini ditunjukkan pada gambar 5 dan gambar 6.

Tabel 2 – Kecepatan *Crosshead*

Posisi <i>Dial</i>	Kecepatan <i>Crosshead</i> (mm/detik)
0,2	0,042
0,5	0,27
1	0,663
2	1,354

Gambar 5 menunjukkan bahwa pada posisi *dial* 0,2, pada saat permulaan kecepatan pergeseran *crosshead* lebih rendah dari pada saat kondisi tanpa beban. Pada suatu titik tertentu kecepatan *crosshead* meningkat sampai dengan putusnya benda uji. Hal serupa ditunjukkan oleh hasil pengukuran pada posisi *dial* 0,5 (gambar 6).

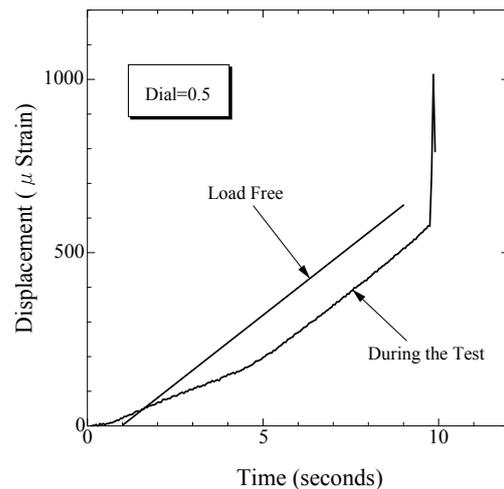


Gambar 5 – Hubungan antara Pergeseran *Crosshead* dan Waktu pada Kondisi Tanpa Beban dan Selama Pengujian dengan Posisi *Dial* 0.2

Namun, pada posisi *dial* 0,5 hasil pengukuran kecepatan *crosshead* pada saat ada beban lebih tinggi dari pada posisi *dial* 0,2. Hal ini menunjukkan bahwa dengan

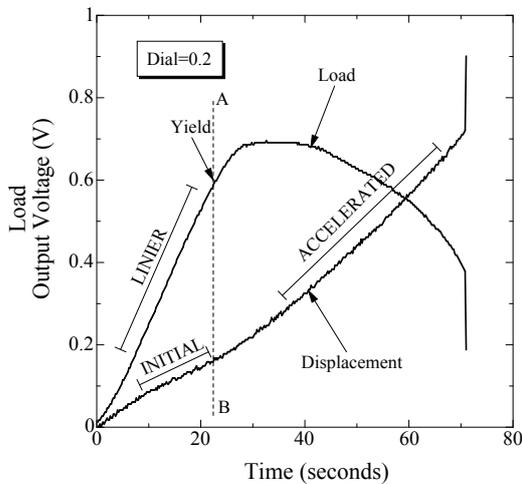
semakin tinggi kecepatan *crosshead* maka penurunan kecepatan akibat pembebanan semakin kecil.

Lebih lanjut, adanya hubungan antara pembebanan selama pengujian tarik berlangsung dengan perubahan kecepatan pergeseran *crosshead* ditunjukkan pada gambar 7.

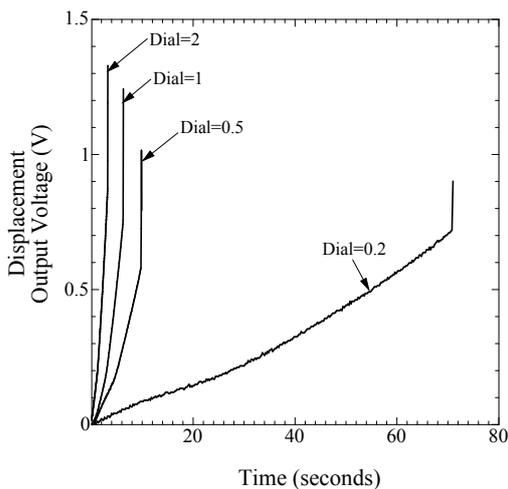


Gambar 6 – Hubungan antara Pergeseran *Crosshead* dan Waktu pada Kondisi Tanpa Beban dan Selama Pengujian dengan Posisi *Dial* 0.5

Gambar 7 menunjukkan bahwa pada saat permulaan pembebanan, dalam hal ini pada saat kondisi elastis, kecepatan pergeseran *crosshead* rendah. Ini merupakan daerah yang menunjukkan hambatan terhadap deformasi (*resistance to deformation*) yang lebih tinggi. Hal ini digambarkan pada grafik *displacement* dimana *slope* pada bagian *INITIAL* lebih landai dari bagian *ACCELERATED*. Titik perubahan kecepatan *crosshead* dari *INITIAL* ke *ACCELERATED* diperkirakan terjadi pada saat bahan mengalami *yield*, yang digambarkan dengan garis putus-putus AB (gambar 7).



Gambar 7 – Hubungan antara Pergeseran *Crosshead* dan Waktu pada Kondisi Tanpa Beban dan Selama Pengujian dengan Posisi *Dial* 0.5



Gambar 8 – Hubungan antara Pergeseran *Crosshead* dan Waktu Selama Pengujian untuk Semua Posisi *Dial*

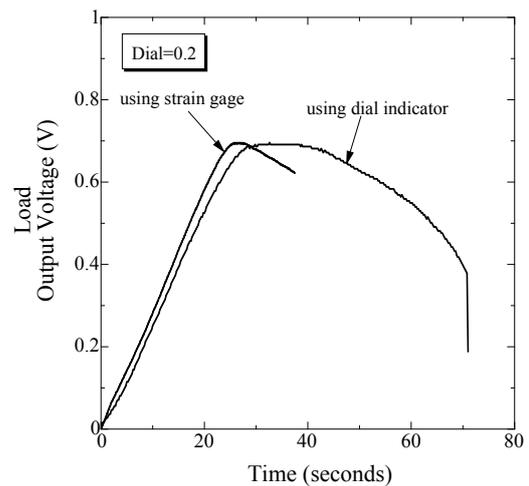
Dengan mulainya bahan mengalami deformasi plastis sampai dengan beberapa saat terjadinya efek *strain hardening* kecepatan *crosshead* juga masih rendah. Setelah mencapai titik puncak pembebanan, seiring terjadinya *necking*, laju deformasi plastis terus meningkat. Pada saat ini laju regangan aksial menurun sebagai konsekuensi dari terjadinya regangan lateral. Pada saat ini pula besarnya gaya yang diperlukan untuk deformasi plastis juga

menurun sehingga terjadilah peningkatan kecepatan *crosshead*. Perbandingan antara kecepatan *crosshead* dari seluruh posisi *dial* yang dipilih ditunjukkan pada Gambar 8.

Pada gambar 8 terlihat jelas bahwa ada perbedaan yang sangat besar pada perubahan kecepatan pergeseran *crosshead* dari yang terendah (*Dial*=0,2) sampai dengan yang tertinggi (*Dial*=2) baik dari permulaan maupun akhir pengujian. Laju pergeseran *crosshead* pada *Dial*=2 menunjukkan perubahan yang relatif lebih kecil dari pada posisi *dial* yang lain. Hal ini dapat disebabkan oleh cukupnya tekanan hidrolis pada aktuator mesin uji tarik sehingga mampu memberikan laju pergeseran *crosshead* yang lebih stabil.

Perilaku Tarik

Gambar 9 menunjukkan hubungan antara beban dan waktu untuk benda uji yang menggunakan *strain gage* maupun yang tidak dengan posisi *dial* 0,2. Untuk benda kerja yang tidak menggunakan *strain gage*, meskipun bagian grafik permulaan mempunyai kemiringan yang berbeda namun setelah beberapa saat grafik menjadi linier. Secara umum pada bagian linier, untuk kedua benda uji, kemiringan grafiknya relatif sama antara satu dengan yang lain.

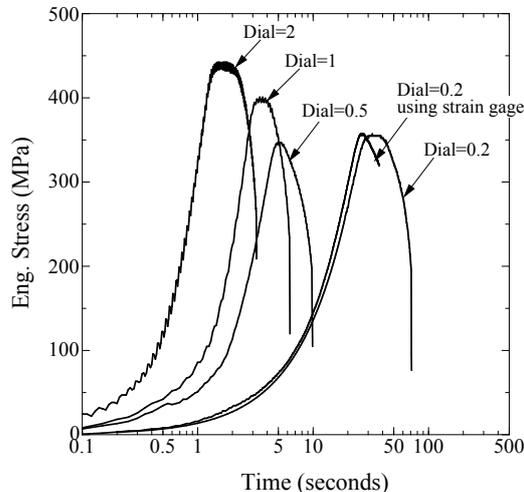


Gambar 9 – Pembebanan dalam Hubungan Beban dan Waktu pada Benda Uji dengan dan tanpa *Strain Gage* dengan Posisi *Dial* 0.2.

Dengan asumsi bahwa untuk bagian tersebut, yaitu bagian yang linier, pergeseran *crosshead* juga linier sehingga laju regangannya pun dapat dianggap linier. Dengan dasar tersebut lebih lanjut dapat diambil kesimpulan bahwa benda uji yang regangannya diukur dengan *dial indicator* dapat memberikan modulus elastisitas yang cukup akurat. Sedangkan untuk pengukuran regangan setelah terjadinya *yield* maka *dial indicator* menjadi sangat berguna untuk pengukurannya.

Metode yang mungkin lebih representatif untuk menentukan modulus elastisitas yaitu penggunaan ekstensometer. Meskipun pengukuran tetap terbatas hanya pada kondisi elastis saja namun ekstensometer mempunyai jangkauan atau rentang pengukuran yang lebih besar yaitu mampu mencapai 50%. Sedangkan *strain gage* hanya mampu sampai dengan 2% saja.

Gambar 10 menunjukkan perbandingan lama waktu proses pengujian mulai awal pembebanan sampai benda uji patah dalam hubungan antara tegangan rekayasa (*engineering stress*) dan waktu.

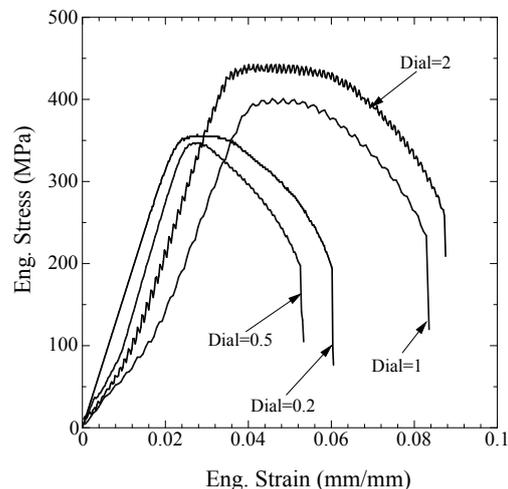


Gambar 10 – Grafik Hubungan antara Tegangan Rekayasa dan Waktu pada Benda Uji dengan Semua Posisi *Dial*

Dalam hal ini pengaruh kecepatan *crosshead* terhadap lama waktu pengujian tidak mempunyai makna apa-apa yang artinya bahwa sudah jelas semakin tinggi kecepatan *crosshead* semakin pendek waktu yang dibutuhkan benda uji sampai patah. Namun,

ada informasi yang sangat penting yang dapat diambil dari grafik pada gambar 10 yaitu bahwa tegangan tertinggi (*ultimate stress*) yang terjadi pada setiap benda uji berbeda satu dengan yang lain. Terutama untuk posisi *dial* 0,2 atau 0,5 dibandingkan dengan posisi *dial* 1 dan 2. Secara lebih jelas fenomena ini ditunjukkan dengan grafik pada gambar 10.

Pada gambar 11, dalam grafik hubungan antara tegangan rekayasa dan regangan rekayasa, ditunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan *crosshead* maka semakin tinggi pula tegangan maksimum yang dicapai oleh benda uji. Pada posisi *dial* 2 tegangan maksimumnya mencapai kurang lebih 440 Mpa, sedangkan terendah, yaitu pada posisi *dial* 0,2, tegangan maksimumnya kurang lebih sebesar 360 MPa. Oleh karena itu ada perbedaan sekitar 90 Mpa diantara yang tertinggi dan yang terendah. Hal ini dapat disebabkan karena *stress flow* yang terjadi meningkat dengan meningkatnya laju regangan [5]. Dengan hasil tersebut dapat diperoleh satu rujukan bahwa kecepatan *crosshead* yang terlalu tinggi akan menghasilkan tegangan maksimum yang menyimpang jauh dari standar yang ditentukan atau dengan kata lain keakurasian pengujiannya rendah.



Gambar 11 – Hubungan antara Tegangan Rekayasa dan Waktu pada Benda Uji dengan Semua Posisi *Dial*

Patahan Benda Uji

Gambar 12 menunjukkan bentuk patahan benda uji yang diuji dengan posisi *dial* 0,2.



Gambar 12 – Contoh Patahan Benda Uji dengan Posisi *Dial* 0,2.

Seperti halnya dalam banyak percobaan, bentuk patahan benda uji yang dalam hal ini adalah dengan bahan sebanding baja DIN ST37, yaitu baja struktural, maka bentuk patahannya juga berupa *cup and cone*. Meskipun dalam gambar 11 bentuk patahan tidak sepenuhnya simetri namun secara prinsip merupakan bentuk patahan *cup and cone*. Pada gambar 11 hanya ditunjukkan 1 jenis parameter pengujian karena untuk benda uji dengan parameter yang lain mempunyai bentuk yang serupa.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik dari pembahasan di atas antara lain:

1. Kecepatan *crosshead* sangat berpengaruh pada perilaku bahan selama uji tarik. Dalam penelitian ini diperoleh hasil bahwa semakin tinggi kecepatan *crosshead* semakin tinggi pula tegangan maksimum yang dicapai oleh benda uji. Meskipun modulus elastisitas bahan tidak dipengaruhi oleh kecepatan *crosshead* namun setidaknya batas proporsional pada grafik tegangan-regangan setiap bahan bergeser pada setiap perubahan kecepatan *crosshead*. Informasi lain yang dapat diambil dari percobaan yaitu kecepatan *crosshead* berubah-ubah selama pengujian. Hal ini tentunya juga mempengaruhi besarnya laju regangan yang terjadi.

2. Dari berbagai kecepatan *crosshead* yang dipilih, yaitu posisi *dial* 0,2, 0,5, 1, dan 2, hasil uji tarik yang berupa grafik tegangan-regangan rekayasa yang paling mendekati perilaku tarik bahan sesuai dengan standar yaitu pengujian yang dilakukan pada kecepatan *crosshead* rendah, yang dalam hal ini pada posisi *dial* 0,2 dan 0,5. Pada posisi *dial* 0,2 dan 0,5 perilaku uji tarik, khususnya tegangan maksimum bahan, berkisar 360 MPa yang artinya mendekati kesebandingan dengan standar DIN ST37.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rosler, J. 2007. *Mechanical Behaviour of Engineering Materials*. New York: Springer.
- [2] Davis, J.R.. 2004. *Tensile Testing*. Ohio: ASM International.
- [3] Wood, PKC. & Schely, CA. 2009. *Strain Rate Testing of Metallic Materials and their Modelling for use in CAE based Automotive Crash Simulation Tools*. Shropshire, UK: A Smithers Co.
- [4] Ray B.C., "Effects of crosshead velocity and sub-zero temperature on mechanical behaviour of hygrothermally conditioned glass fibre reinforced epoxy composites", *Materials Science and Engineering A*, Vol. 379, Iss. 1-2, 2004.
- [5] Wang M., Akiyama E., Tsuzaki K., "Crosshead speed dependence of the notch tensile strength of a high strength steel in the presence of hydrogen", *Scripta Materialia* 53 (2005) 713–718.
- [6] Wal A, Gaymans RJ., "The effect of the test speed on the fracture behaviour " *Polymer* 40 (1999) 6045–6055
- [7] Cal, B, Aydemir B., & Fank, S. 2002. *Effect of Test Speed on Verification of Material Testing Machine*. Kocaeli,

Turkey
[8] ASM Handbook, Ohio:ASM International