

UJI TARIK DINAMIS BATANG SAMPEL ALUMINUM 6061T8 DENGAN METODA FOTOGRAFIS

DYNAMIC TEST PULL ROD 6061T8 ALUMINUM SAMPLES WITH PHOTOGRAPHICALLY METHODS

Sahlan
Pusat Audit Teknologi – BPPT
Sahlan_1956@yahoo.com

Abstrak

Sistem pemodelan fotografis yang menggunakan iluminator LED (Light Emitting Dioda) dan kamera film 35 mm di coba untuk digunakan mendiagnosis uji tarik dinamis batang uji. Pengulangan pada uji fotografis pada beberapa bentuk sampel uji tarik aluminium 6061T8 dengan kecepatan sampai dengan 50 kHz, yang mana material ini relatif memiliki karakteristik yang sangat bagus dan relatif lebih tahan terhadap kekuatan regangan rata-ratanya dan tingkat kekerasan yang tinggi. Pencahayaan LED pada saat yang tepat dapat terkoreksi hasilnya dengan pencatatan pengukuran batang sampel uji konvensional. Pemakaian ini dapat dipergunakan lebih luas untuk pengukuran kurva tegangan-regangan terhadap deformasi plastis yang labil.

Kata Kunci : Uji Tarik, Fotografis, Illuminator LED

Abstract

The model system of a photographic using light-emitting diode (LED) illuminator and a 35-mm rotating drum camera has been developed for diagnosis of dynamic-tensile tests conducted with split tension bar. Back-lit photographs of deforming tensile samples are obtained at rates up to 50 kHz that test were conducted with 6061T8 aluminum, since this material is relatively well characterized and relatively insensitive to strain rate and work hardening. The LED exposures are precisely time corrected with the conventional bar-strain-gage records. The system can be used to extended the measurement of stress-strain-gage curves beyond the onset of plastic instability.

Key Words : Tensile Tests, Photographs, Illuminator LED

*Diterima (received) : 13 Agustus 2015, Direvisi (Revised) : 06 September 2015,
Disetujui (Accepted) : 27 November 2015*

PENDAHULUAN

Material aluminium adalah salah satu material logam merupakan jenis material yang banyak penerapannya untuk konstruksi karena sangat ringan bila dibandingkan dengan baja, dan tahan terhadap korosi.^{1,5,12,14,15)} Untuk meningkatkan kekuatan mekanisnya (seperti halnya baja) dapat dilakukan perawatan panas (*heat treatment*) sehingga memiliki keunggulan kemampuan permesinan yang baik, penyelesaian permukaan sempurna, kekuatan yang tinggi dan ringan, ketahanan

terhadap korosi. Memang tidak bisa dipungkiri, bila dibandingkan dengan baja, aluminium masih banyak kekurangannya bila dipergunkana untuk bagian-bagian mesin yang bergerak cepat (*fast moving parts*), Namun, bila untuk bahan konstruksi beban statis aluminium masih merupakan peluang kompetitif dengan baja.

Teknologi material aluminium dibidang teknik mesin disesuaikan dengan kebutuhan dan tingkat keandalan yang tinggi dengan keadaan konstruksi seringan mungkin.^{1,5,7,13,16)} Masalah keretakan yang sering terjadi pada pemakaian aluminium di

industri, ini telah banyak dilakukan penelitian dalam berbagai bentuk pengujian, namun perilaku retak pada pembebanan mode campuran masih perlu terus dikembangkan. Maka kemudian muncul Aluminium 6061 T8 yang mempunyai keunggulan kompetitif yang tahan terhadap perilaku keretakan lelah elastis-plastis.^{2,8,9,10,12,13)}

Aluminium 6061 T8 merupakan paduan aluminium subseri 6000 adalah merupakan paduan aluminium dengan penguatan pengendapan mikrostruktur fasa- α , yang mengandung magnesium dan silikon sebagai unsur paduan utamanya (*major alloying*). Aslinya Aluminium 6061 disebut Alloy 61S, yang ditemukan pada tahun 1935 yang terkenal sebagai bahan aluminium yang mempunyai sifat mekanis, dan unjuk mampu lasnya yang baik. Dalam industri rekayasa satu dari sekian banyak jenis aluminium paduan banyak dipakai. Karena sifat aluminium yang ringan, sifat mekanis dan mampu las serta mampu tempa yang baik banyak dipergunakan untuk industri konstruksi pesawat terbang, perabotan rumah tangga, bejana bertekanan tinggi dan flens berkekuatan tinggi. Dalam standar nasional, Aluminium 6061 mempunyai kesetaraan dengan UNS A96061; ISO AlMg1SiCu, AD-33 (Rusia) dan AA6061-T8.

Hal lain dari kelebihan dari 6061 T8 ini dapat dilakukan proses pre-tempered yang bertujuan meningkatkan kemampuan mekanisnya seperti pada Aluminium 6061 T8 yaitu aluminium penguatan kelarutan dan penyepuhan berkekuatan tinggi.

Dalam melakukan analisis dengan menggunakan sistem pemodelan fotografis yang menggunakan iluminator LED (Light Emitting Dioda) dan kamera film 35 mm di coba untuk digunakan mendiagnosis uji tarik dinamis batang uji.^{10,11,16)} Pengulangan pada uji fotografis pada beberapa bentuk sampel uji tarik aluminium 6061T8 dengan kecepatan sampai dengan 50 kHz, yang mana material ini relatif memiliki karakteristik yang sangat bagus dan relatif lebih tahan terhadap kekuatan regangan rata-ratanya dan tingkat kekerasan yang tinggi.

Keunggulan dari pada model uji ini bila dibandingkan dengan metoda uji konvensional putus akan diperoleh hasil uji yang lebih teliti dan akurat. Model uji grafis ini merupakan proses tarikan alamiah dan tidak memaksakan untuk luluh atau putus.

STUDI PUSTAKA

Sistem metoda uji tarik fotografis ini menguraikan secara detail untuk

memperoleh data dari saat awal pengujian tarik sampai mencapai titik statis yang labil atau kritis. Penampilan data akurat hasil metoda uji tarik fotografis pada penampang batang leher benda uji tarik mencitrakan sampel terdeformasi, dari radius minimum, (a), dan jari-jari lingkaran penampang batang leher, R maka hasilnya dapat diukur. Disini ada dua macam pengujian yang dapat dijadikan parameter ukur, atau dipakai untuk memperkirakan peristiwa atau riwayat tegangan dan regangan pada sampel uji tarik langsung, seperti yang dipergunakan pada metoda analisis Bridgmann.

Berdasarkan persamaan Bridgmann, terjadinya tegangan efektif ($\bar{\sigma}$), adalah:^{10,11)}

$$\bar{\sigma} = \frac{(a_o/R)^2 (P/a_o^2)}{[(a/R)^2 + 2(a/R)] \ln(1 + 2a/R)} \quad \dots (1)$$

Dan regangan plastis (ϵ^p), dimana disini diasumsikan bahwa bentuk leher kritis sampelnya adalah berbentuk merata, dapat dihitung dari :

$$\epsilon^p = 2 \ln(a_o/a) \quad \dots \dots \dots$$

.....(2)

dimana:

- a_o adalah radius permulaan (*initial radius*)
- P/a_o^2 adalah regangan rekayasa.

METODA

Metoda atau cara pengujian uji tarik dinamis dipakai untuk menentukan pedoman tolok ukur permulaan investigasi pengamatan perilaku regangan rata-rata yang tinggi pada material. Berbeda dengan cara pengujian statis konvensional yang dilakukan hanya sekali uji tarik saja sampai putus dan hanya diperoleh satu garis kurva saja atau disebut kurva positif. Pada metoda uji tarik dinamis, sampel uji tarik^{2,3,4,5,6)} dipergunakan untuk mengidentifikasi performa pada benda kerja pada kondisi sebenarnya, dan dipakai sebagai konfigurasi pengukuran kuat tarik riilnya, dimana nantinya dapat dipakai sebagai pedoman tolok ukur standar uji.

Sistem pemodelan fotografis uji tarik, analoginya sama dengan metoda uji tegangan uniaksial konvensional, terkecuali untuk pengujian tarik dengan rentang regangan rata-rata yang tinggi melebihi 1.000/detik. Pemodelan fotografis uji tarik

disini, dalam prakteknya menggunakan satu batang lurus dengan dua penjepit (*grips*). Gribs dipergunakan untuk menahan beban kejut (benturan) sampel uji tarik dari satu ujung ke ujung lainnya.¹¹⁾ Untuk batang lurus, pengujian benturan pertama (*initial impact*) akan menghasilkan gelombang tegangan didalam batang tekan dengan selang waktu dua kali transit kecepatan suara. Gelombang tegangan berjalan merambat kebawah batang, dan dipantulkan menyebar ke batang uji. Pantulan dan rambatan gelombang tekan ditangkap oleh pengukur regangan (yang ditempatkan pada batang tekan) yang berjarak sama dari arah posisi sampel batang uji. Hubungan tegangan-regangan uniaksial pada sampel uji tarik dapat di jadikan sebagai hasil kesimpulan sebagai analisis sinyal untuk pengukuran regangan.

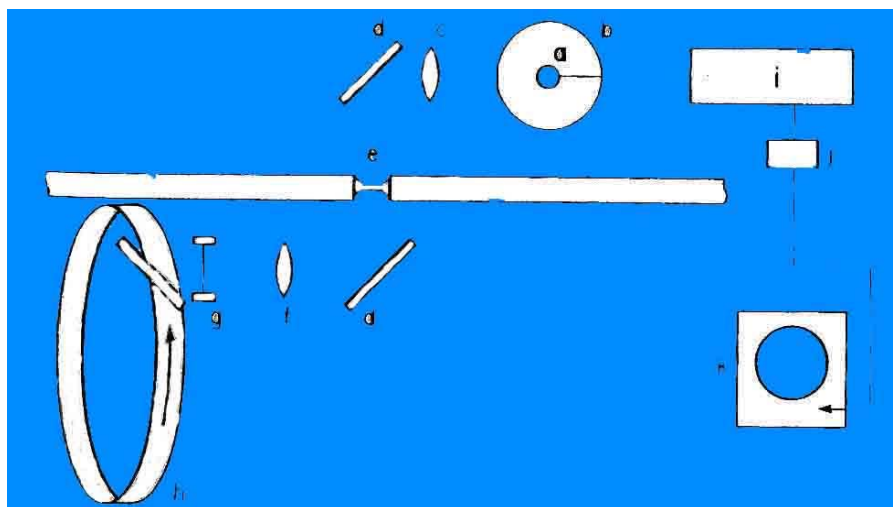
Saat pengujian tarik dilakukan, grib diikatkan pada ujung-ujung batang uji, dan baut grib dikencangkan erat-erat pada batang uji kedalam batang tekan. Gelombang tekan yang dihasilkan dirambatkan dari batang pertama ke batang kedua, dan terus lanjut ke grib. Sampel benda batang uji dan grib khusus yang dipakai didalam pengujian ini seperti terlihat pada Gambar 1. Bila gelombang tekan telah sampai pada ujung batang kedua, maka kemudian gelombang dipantulkan sebagai responsi gelombang tarik. Gelombang tarik merambat pada sampel, dan hubungan timbal balik pada sampel batang uji merupakan karakteristik tegangan-regangan yang akan disimpulkan dan dicitrakan untuk pengukuran nilai regangan. Batang-batang sampel uji

dipergunakan didalam pengujian ini untuk ukuran sampel berdiameter 12,7 mm^{5,12,13,16)} dan dibuat dari aluminium 6061T8, dan dirambatkannya gelombang tarik merambat dengan pulsa gelombang sebesar 300 μ s.



Gambar 1.
Sampel Uji Al6061T8

Sistem metoda atau pemodelan uji (tarik) fotografi diilustrasikan pada Gambar 2, dimana deformasi spesimen uji tarik berbentuk silindris simetris, dan pada sisi belakangnya terpasang fotografi bayangan hitam yang tepat posisinya. Sepanjang penempatan fotografi yang tepat, maka dapat dipergunakan sebagai sumber celah untuk visualisasi pembidikan untuk pengamatan obyek sampel benda uji. Setelah dilakukan penyesuaian dalam penyetulan obyek fotografi dan sudah diperoleh jarak tepat maka kemudian dipasangkannya dioda LED seri Farchild FLV104.



Gambar 2:¹¹⁾

Diagram metoda uji tarik fotografi: (a). LED, (b). Dewar, (c). Lensa pemantul, (d). Cermin pengarah, (e). Sampel uji, (f). Lensa fokus (g). Pengindra, (h). Pemutar drum kamera, (i) generator pulsa, (j). Pengarah pulsa, (k) Osiloskop perekam pada chanel *strain-gage*.

Ada beberapa pertimbangan dalam pemakaian metoda atau cara pemasangan LED, dimana disini dipergunakan sumber pulsa gelombang sinar (*pulsed-light*) pendek dan intensitas tinggi, kemudian dan mengubah atau mengatur secara sistematis akan diperoleh suatu keuntungan, yaitu: (1) sudut divergensi rendah (4 derajat), (2) pulsa arus amplitudo tinggi, (3) waktu atau tempo respon sangat cepat, (4) substansial untuk peningkatan didalam intensitas pada $78^{\circ} K$ dengan perubahan kecil didalam pancaran riak panjang gelombang, (5) kebutuhan daya biasa, dan (6) biaya relatif rendah.

Data hasil pengukuran regangan didiagnosis dan dipergunakan sebagai pengukuran besarnya tegangan dan regangan yang terjadi, yang mana kemudian dikonversikan terhadap tegangan dan regangan sebenarnya, sampai pada daerah lokalisasi deformasi yang terserang, yaitu daerah leher batang uji, dan ini dipergunakan untuk membandingkannya hubungannya terhadap metoda uji tarik konvensional. Kebanyakan bahan, terjadinya daerah kritis ada pada batang leher benda uji. Pada batang leher benda uji adalah merupakan awal permulaan terjadinya peregangan, dan analisis tegangan-regangan pada metoda uji konvensional tidak dapat dipakai atau tidak mampu untuk menghitung tegangan dan regangan uji sebenarnya, oleh karena itu pengukuran lintasan kurva tegangan-regangan biasanya berakhir dengan baik sebelum putus atau gagal.

LED digerakkan dengan arus pulsa sampai dengan 6 amp dengan durasi sampai dengan 100 ns pada repetisi rata-rata 50 kHz oleh transistor pengarah yang berisikan transistor type VN88 FET yang paralel. Transistor-transistor itu sendiri digerakkan oleh komputer HP (Hewlett-Packard) generator pulsa type 8011B yang dapat menghasilkan amplitudo pulsa, pulsa lebar, dan frekuensi repetisi-pulsa yang konstan, dimana ini semuanya merupakan variabel kontinyu. Sistem komputer HP 8011B adalah perangkat keras dengan dilengkapi piranti lunak sirkuit penghitung, yang mana diharapkan dapat mengontrol dan menghasilkan banyak pulsa tetap (dari 1 hingga 9999) dan dapat merespon pulsa yang mentrigger penggerakannya. Sistem pemodelan fotografis digambarkan seperti layaknya penggerak pulsa trigger artinya bahwa bilamana batang lurus benda uji tarik mengenai batang tekan maka akan mengrespon obyeknya dalam gambar. Disini juga pulsa trigger dipasangkan pada sistem komputer HP 8011B.

Panjang gelombang dan riak-pancaran dari pada LED adalah 670 nm yang mana membutuhkan film dengan sensitivitas sinar merah yang kuat. Kodak (*camera*) 2479 dipilih karena sensitivitas gelombang sinar merahnya sangat kuat sampai 700 nm. Permulaan sekali, LED di jalankan pada suhu ruangan, Pencitraan pencatat (*recorded images*) akan bersinar terang, ini menandakan sudah berjalan untuk selanjutnya menekan tombol proses pada film oleh sistem pada suhu tinggi untuk operasi sistem lebih lanjut beberapa selang kemudian. Kualitas pencitraan yang dihasilkan sangatlah terbatas. Dalam langkah berikutnya, dimana untuk meningkatkan tampilan, LED harus didinginkan dengan nitrogen cair, dengan cara LED yang dipasangkan sudah sampai diatas pada seukuran jari pada tombol gelas pengamat, dan LED dapat menahan sekitar 0,75 liter nitrogen cair. Timah hitam yang panjang dibutuhkan untuk menghubungkan LED ke sirkuit driver yang tidak mempunyai pengaruh yang signifikan pada respon frekuensi. Pendinginan LED dapat berpengaruh menambah energi pulsa outputnya oleh sekurang-kurangnya disebabkan oleh tiga faktor agar menghasilkan tampilan citra gambar pada film 2479.

Pancaran sinar oleh LED di tampung lensa berdiameter 50 mm dan panjang 60 mm. Lensa memfokuskan sinar dari LED ke sampel fotografi langsung menuju penyorot terpotong obyek sampel dalam seputar kerah (*collar*) sampel. Cahaya atau sinar, yang mana muncul dari ruang sampel dan difokuskan kembali oleh lensa kamera f/4,5 dengan panjang jarak fokus 254 mm. Lensa kamera memunculkan bayangan sampel sampai ke permukaan kurva bayangan pada sisi film pemutar drum kamera Cordin Model 319B yang berjarak 35 mm.⁷⁾

Parameter-parameter optikal yang akan diukur ditentukan untuk melengkapi resolusi pencitraannya. Kecepatan drum adalah 300 m/detik dimana dalam 6 mm terjadi translasi gambar diantara pencahayaannya. Proses pencahayaan seperti ini mempunyai besaran sekitar 1,2, dan urutan pencahayaan pada slot pada kolar fotografi besarnya adalah tangen terhadap sisi-sisi proyeksinya. Parameter-parameter optikal yang dihasilkan didalam resolusi bidang obyek sampelnya adalah 40 lp/mm. Benda uji fotografinya berdiameter dalam sekitar 3,2 mm, oleh karena itu diameter benda uji akan dapat ditentukan sekitar dibagian pertama dalam 128 mm. Perpindahan atau pergerakan arah longitudinal sampel dihasilkan didalam

bayang-bayang pergerakan hanya 0,0009 mm.

Ini dapat kemungkinan terjadi untuk menjalankan sistem kamera dengan durasi pulsa setara 30 ns bila film fotografi suda ada lebih jauh saat proses penekanan, akan tetapi ini sangat ditentukan, bahwa ketepatan pengujian terjadi dari ketentuan panduan yang tertera pada operasi yang memadai untuk pemakaian seperti yang dimaksud.

Kira-kira diperoleh 175 pencitraan atau gambar yang dapat dapat direkam pada setiap satu strip film. Biasanya, generator pembangkit pulsa pada sistem komputer HP dapat distel untuk menghasilkan 150 hingga 175 pulsa, pada saat seperti ini dianggap mencukupi untuk merekam beberapa siklus beban sampel. Agar diperoleh kecepatan putaran yang aktual pada kamera maka kecepatan kritis diatur sedemikian rupa selama pencitraan berdekatan waktunya sehingga gambarnya tidak saling tumpang tindih (*overlap*).

Ketepatan kecepatan perputaran film kamera tidak dapat dimonitoring, karena seluruh pencitraan gambar informasi waktu dapat terjadi dari pulsa frekuensi generator. Sinyal dari pengukur regangan direkam pada dua chanel digital Nicolet Explorer III dan sinkronisasi pulsa akan ditampilkan pada setiap berkas sinar (*flash*) LED yang direkam pada satu chanel oscilloscope Nicolet keduanya. Dan pada chanel berikutnya, rekaman oscilloscope sinyal pengukur regangan menjadi tidak berguna. Sepintas, pencatatan yang tepat pada dua sinyal pengukur regangan dan divariasiasikan terhadap pencitraan fotografi menjadi dimungkinkan.

Sinyal-sinyal pengukur regangan yang disinkronkan antara satu terhadap yang lainnya, namun ini semua bukan merupakan piranti pelengkap yang tepat waktunya, ini disebabkan waktu yang dibutuhkan menjadi tak terhingga untuk menyebarkan dari sampel uji ke tempat-tempat pengukuran. Citra atau gambar fotografi pada satu sisi atau titik merupakan rekaman yang tepat waktu, terutama penampilan yang tidak mempunyai hubungan kedeformasi seperti yang ditunjukkan oleh simulasi sinyal pengukur regangan.

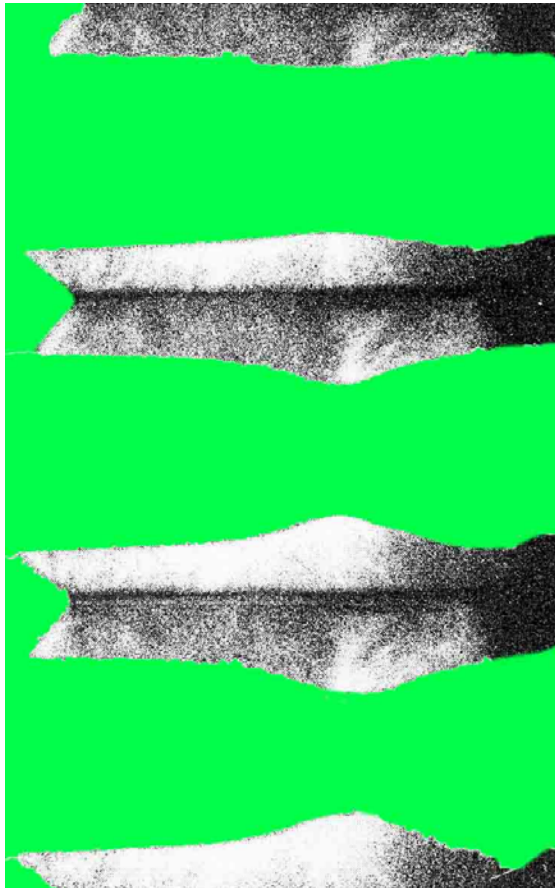
Kurun tenggang waktu tunggu dapat membaca langsung rekaman saat pengukuran regangan,

artinya untuk kurun waktu antara datang dari pada perjalanan gelombang ke arah sampel dan kedatangan berbanding lurus terhadap pantulannya. Untuk keserasian, skala waktu didefinisikan oleh rekaman pengukur regangan yang dipergunakan didalam reduksi data.

Data hasil pengukuran regangan didiagnosis dan dipergunakan sebagai pengukuran besarnya tegangan dan regangan yang terjadi, yang mana kemudian dikonversikan terhadap tegangan dan regangan sebenarnya, sampai pada daerah lokalisasi deformasi yang terserang, yaitu daerah leher batang uji, dan ini dipergunakan untuk membandingkannya hubungannya terhadap metoda uji tarik konvensional. Kebanyakan bahan, terjadinya daerah kritis ada pada batang leher benda uji. Pada batang leher benda uji adalah merupakan awal permulaan terjadinya peregangan, dan analisis tegangan-regangan pada metoda uji konvensional tidak dapat dipakai atau tidak mampu untuk menghitung tegangan dan regangan uji sebenarnya, oleh karena itu pengukuran lintasan kurva tegangan-regangan biasanya berakhir dengan baik sebelum putus atau gagal.

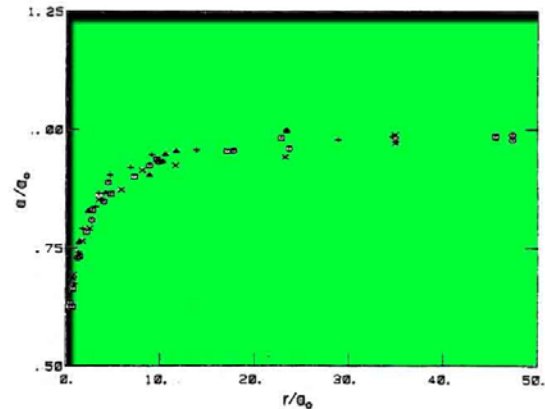
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian yang menggunakan sampel bahan aluminium 6061T8, dimana bahan ini relatif mempunyai karakteristik dan insentifitas yang sangat baik untuk nilai regangan rata-ratanya dan dapat bekerja pada beban yang berat. Dipilih perekaman gambar selama pengujian seperti pada Gambar 3. Diawali dari perekaman frame gambar ke 63, dan kemudian pada peristiwa tahapan terjadinya pemuluran sampel akan teramati dengan sangat jelas sampai pada peristiwa keretakan terakhir didalam frame ke 63 tersebut. Rata-rata regangan didalam keadaan posisi keretakan terakhir didalam sampel, deformasi diperkirakan tiga kali lebih besar dari pada rata-rata regangannya.

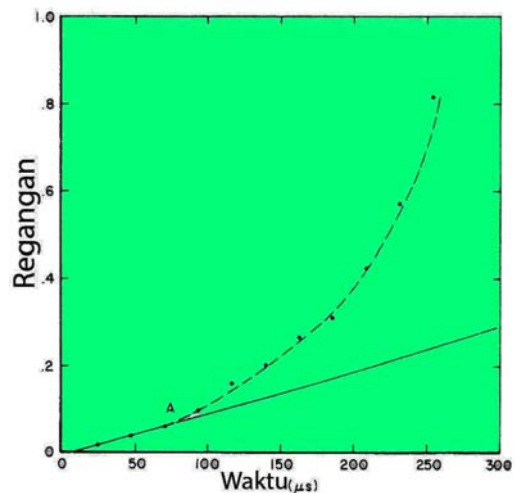


Gambar 3.
Penampang leher aluminium 6061T8

Hasil cetak gambar fotografi yang kemudian dipergunakan untuk analisis data, dan untuk memperoleh kesesuaian gambar kita dapat mempergunakan printer mikrofilm yang banyak diperjual belikan dipasaran. Pada potongan melintang didaerah leher patah kritisnya (*sample necked*) kita citrakan secara digital dalam gambar kurva order kedua, Radius terkecil dan radius kurva semuanya diakumulasikan oleh sistem komputer dari daerah leher patah kritisnya. Maka hasilnya akan diperoleh gambar citra yang sangat terukur seperti pada Gambar 4, yang mana harga-harga untuk kelima pengujian tarik tersebut merupakan gambar yang ditumpangin pada lintasan kurvanya. Perlu disampaikan disini bahwa pengukuran awal atau titik nol dipergunakan sebagai referensi harga permulaannya. Untuk menyamakan rata-rata harga regangan yaitu sebelum sampai didaerah leher kritisnya, maka dihitunglah nilai rata-rata regangan dari hasil pengukuran dan pengamatan uji tarik dan kemudian dihitung pula rata-rata regangan dari hasil fotografinya, seperti terlihat pada Gambar 5.

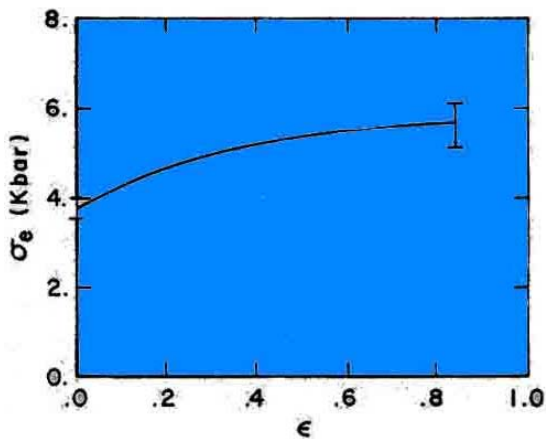


Gambar 4.
Karakteristik hasil uji fotografi pada daerah leher sampel batang uji aluminium 6061T8



Gambar 5.
Karakteristik regangan rata-rata dan didaerah leher sampel batang uji aluminium 6061T8

Jelasnya, ketentuan kurva karakteristik pada parameter hasil analisis tegangan-regangan, maka untuk nilai (titik-titik) tegangan-regangan tidak dapat diterima yang berada diluar daerah leher kritisnya (titik A). Garis pejal pada titik A ini tidak valid. regangan-regangan yang ada di daerah yang rata, yaitu berawal dari daerah leher kritis sampai terjadi pembebanan maka deformasi yang terbentuk, titik-titiknya menempati daerah yang terlokalisasi dan ini seperti yang ditunjukkan oleh adanya bintang-bintang yang ada di peta dalam Gambar 5 tersebut. Selama regangan pada keadaan tetap atau stabil maka akan terjadi simpangan harga tegangan-regangan yang uniaksial sebagai bentuk perwujudan adanya peningkatan formasi dileher kritis, maka tegangan dan regangan-regangannya diperkirakan ada didalam leher kritisnya.



Gambar 6.

Karakteristik tegangan efektif-regangan didaerah leher sampel batang uji aluminium 6061T8.

Tegangan efektif dan regangan plastis kemudian dihitung dan hasilnya dipergunakan sebagai data karakteristik untuk dipetakan didalam Gambar 4, yaitu dengan tetap menggunakan korelasi hubungan diatas. Bilamana regangan elastis diabaikan dan kemudian membandingkannya dengan regangan plastis titiknya berada didalam daerah leher kritisnya, maka total regangan dapat diasumsikan sama dengan regangan plastisnya, Hubungan antara tegangan-regangan dapat dilihat pada Gambar 6.

SIMPULAN

Hasil uji tarik batang sampel aluminium 6061T8 metoda uji fotografis menunjukkan akurasi lebih baik bila dibandingkan menggunakan metoda uji tarik konvensional, biaya pengujian relatif murah dan lebih cepat memperoleh hasilnya. Dan pada metoda uji fotografis secara nyata diperoleh gambar citra yang sangat terukur, dimana harga-harga yang diakurasikan oleh sistem komputer mencitrakan lintasan kurva sebagai karakteristik hasil uji yang sebenarnya.

Lebih efektif lagi, apabila didalam metoda uji fotografis mempergunakan iluminator LED dengan drum putar pada kamera untuk sampel batang uji lurus. Dimana data tegangan dan regangan yang diperoleh dapat dijadikan sebagai patokan untuk regangan rata-rata yang lebih tinggi terutama untuk menganalisis fotografis pada daerah leher sampel batang uji.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan Terimakasih disampaikan kepada Kepala Pusat dan Pengabdian Kepada Masyarakat STT-PLN, Dr. Ir. Soetjipto Soewono, Dipl.,GE., dan Ketua Jurusan Teknik Mesin, STT-PLN, Drs. Prayudi, MM.,MT., yang telah memberikan suport dana dan arahan pada kegiatan penelitian ini, dan diharapkan hasil penelitian dapat dipergunakan untuk bahan kuliah Kapita Selekta bagi mahasiswa semester delapan atau sembilan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Zuhaimi, Husaini, Perilaku Retak Aluminium Paduan A6061-T6, Laboratorium Material dan Mekanika Retakan, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik UNSYIAH, Darusalam, Banda Aceh, 2014.
2. Timoshenko, S., Strength of Materials Part I, Robert E. Krieger Publishing Co., Huntington, New York, 2012.
3. Timoshenko, S., Strength of Materials Part II Advanced, Rober E.Krieger Publishin Co., Huntington, New York, 2013.
4. Timoshenko, S., Theory of Plates and Shells, Robert E. Krieger Publishing Co., Huntington, New York, 2009.
5. Mustadjab Herlambang, Djuhana, Pengujian Logam Tarik Aluminium, Seminar Material Metalurgi, LIPI, hal. 208 -216, Serpong, 2012,
6. Budiman, Anton dan Priambodo, Bambang, Eelemen Mesin Jilid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta, 2010
7. Saito, Shinroku dan Surdia, Tata, Pengetahuan Bahan Teknik, Pt.Pradnya Paramita, Jakarta, 2011.
8. Nicholas, T., Tensile Testing of Materials at High Rates of Strain, "Experimental Mechanics, 21 (177-186), 2010
9. Meissner, E., A prof that this a sufficiently accurate assumption was given, Schweiz Bauzeitung, vol 80, hal 12, 2010.
10. Bridgemen, P.W., Studies in Large Plastic Flow and Fracture, Chapt.1., McGraw-Hill, New York, 2009.
11. Hutchings, L.M., and Andrew, D.R., Light Emitting Diodes as Short Duration Light Sources, Proceeding 13th Int.Cong., High Speed Photography, Tokyo (p 223-227), 201.

12. Hall, C.M. 6061T6 Aluminum for Industries, Experimental Mechanics, 22, p.210-215 (2009).
13. ASM (Aerospace Specification Metal Inc.)Pompano Beach, Florid, USA, 2014
14. Anonim, Alumnum, dari [[<http://Webmineral.com/data/aluminum.shtm1>]], diunduh per tanggal 5 November 2014
15. Polmear, I.J., Light Alloy: Metallurgy of The Light Metals, McGraw-Hill, New York, 2009.
16. Dally, J.W. dan Riley, W.F., Analysis Tchniques : Experimental Stress Analysis, McGraw-Hill, New York, 20097