

DESAIN DAN PENGEMBANGAN ALAT UJI TONJOLAN HIDROLIK (*HYDRAULIC BULGE TEST*) SEDERHANA BERBIAYA RENDAH UNTUK KARAKTERISASI MAMPU BENTUK LOGAM LEMBARAN TIPIS (*METAL FOIL*) PADA KONDISI REGANGAN BIAKSIAL MURNI**Surahman, Rahmat Saptono**

Universitas Indonesia, Indonesia

Email: surahman91@office.ui.ac.id, rahmat.saptono@office.ui.ac.id

Abstrak

Penelitian ini mengembangkan dan menguji alat uji tonjolan hidrolik sederhana dan berbiaya rendah untuk karakterisasi kemampuan bentuk logam lembaran tipis pada kondisi regangan biaksial murni. Fokus penelitian ini adalah pada foil kuningan kuning (Cu-Zn) dengan ketebalan 0,2 mm, menggunakan alat dengan diameter tonjolan kecil (20 mm), relevan untuk aplikasi mini forming. Data yang dikumpulkan meliputi hubungan antara tekanan dan tinggi tonjolan, yang kemudian dikonversi menjadi tegangan efektif dan regangan efektif. Alat ini dirancang untuk secara langsung menghasilkan data tegangan vs. regangan untuk menghitung eksponen pengerasan regangan (nilai-n). Strategi inovatif penelitian ini termasuk penggunaan diameter tonjolan kecil untuk mini forming dan tanda lingkaran pada permukaan spesimen untuk memfasilitasi konversi data tekanan-tinggi tonjolan menjadi parameter tegangan-regangan. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa alat ini mampu mengukur hubungan tekanan vs. tinggi tonjolan dengan akurasi tinggi. Meskipun data awal menunjukkan akurasi dalam pengukuran tekanan dan tinggi tonjolan, konversi langsung ke parameter tegangan dan regangan efektif masih memerlukan metode tambahan untuk mencapai hasil yang lebih baik. Penelitian ini menawarkan solusi ekonomis untuk karakterisasi material dalam aplikasi mini forming dan menyajikan alat yang dapat diandalkan untuk studi lanjutan pada berbagai jenis logam lembaran tipis..

Kata kunci: Alat Uji Tonjolan Hidrolik, Regangan Biaksial, Logam Lembaran Tipis, Kuningan, Formabilitas,

Abstract

This research develops and validates a low-cost, simple hydraulic bulge test device designed to characterize the formability of thin metal foils under pure biaxial strain conditions. The study focuses on yellow brass foil (Cu-Zn) with a thickness of 0.2 mm, using a device with a small bulge diameter (20 mm), relevant for mini-forming applications. The collected data includes the relationship between pressure and bulge height, which is then converted into effective stress and effective strain. This device aims to directly generate stress-strain data for calculating the strain hardening exponent (n-value). Key innovations include the use of a small bulge diameter suitable for mini-forming and the application of circular markers on the specimen surface to facilitate the conversion of pressure-height data into stress-strain parameters. Validation results show that the device accurately measures the pressure vs.

How to cite:	Surahman (2024) Desain Dan Pengembangan Alat Uji Tonjolan Hidrolik (Hydraulic Bulge Test) Sederhana Berbiaya Rendah Untuk Karakterisasi Mampu Bentuk Logam Lembaran Tipis (Metal Foil) pada Kondisi Regangan Biaksial Murni , (06) 07
E-ISSN:	2684-883X
Published by:	Ridwan Institute

bulge height relationship. While initial data demonstrates accuracy in measuring pressure and bulge height, additional methods are required to directly convert these measurements into effective stress and strain parameters. This research provides an economical solution for material characterization in mini-forming applications and presents a reliable tool for further studies on various types of thin metal foils.

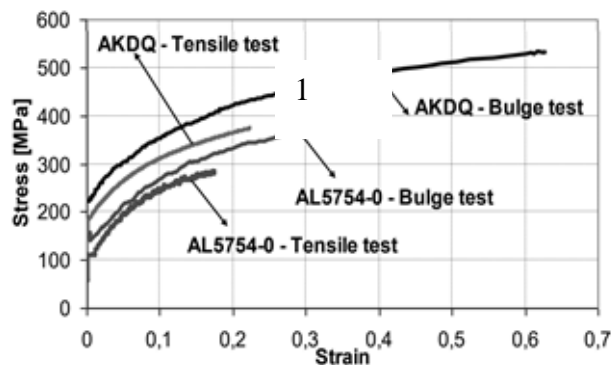
Keywords: Hydraulic Bulge Test Device, Biaxial Strain, Thin Metal Foils, Brass, Formability, Mini-Forming

PENDAHULUAN

Lembaran logam (sheet metal) merupakan material yang digunakan luas dalam industri kapal, dirgantara, otomotif, dan berbagai aplikasi lainnya (Haryanti, 2017). Sifat-sifat material yang baik sangat penting untuk merancang produk yang aman dan efisien. Misalnya, dalam pembuatan kapal, lembaga klasifikasi menetapkan aturan yang menentukan sifat material yang harus dipenuhi untuk operasi yang aman. Dalam era industri yang kompetitif, aturan berdasarkan pengalaman ini perlu diperbarui dan batasannya perlu didorong untuk meningkatkan efektivitas biaya (Koh, 2008; Pratama, Anggono, & Hendrawan, 2016).

Dalam industri transportasi, penurunan bobot produk dapat mengurangi konsumsi bahan bakar dan meningkatkan berbagai aspek performa seperti kecepatan dan kapasitas kargo (Neff, Eidel, & Martin, 2016). Proses pembentukan lembaran logam memanfaatkan keuletan material untuk membentuknya menjadi bentuk yang diinginkan. Namun, deformasi plastis yang meningkat dapat menyebabkan *necking* (penyempitan) dan patahan *ductile* (ulet), yang merupakan mekanisme kegagalan umum pada struktur lembaran logam (Nasser, Yadav, Pathak, & Altan, 2010). Pada material yang kurang ulet, patahan dapat terjadi sebelum *necking*. Dengan pengetahuan yang baik tentang desain, proses pembentukan, dan sifat material, risiko kegagalan struktural dapat diprediksi dan dihindari. Mengingat pengujian skala penuh mahal dan memakan waktu, pengujian sifat material untuk menentukan *n-value* dan penggunaan perangkat lunak simulasi menjadi penting (Martínez Palmeth, Gonzales Carmona, & Miranda Castro, 2021).

Pengujian bulge hidrolik (*hydraulic bulge test*) memberikan kemampuan eksperimental yang lebih baik dengan tingkat regangan mencapai 40%, dibandingkan dengan uji tarik yang mencapai 18% (Suripto & Anwar, 2020; WICAKSONO, 2022). Pengembangan *Forming Limit Diagram* (FLD) memerlukan berbagai pengujian untuk menentukan batas kemampuan bentuk lembaran logam. Pengujian ini meliputi uji bulge hidrolik, uji kompresi biaksial pada spesimen laminasi, tegangan biaksial spesimen *cruciform*, dan uji punch atau Nakazima test. Setiap pengujian ini dapat menentukan titik luluh untuk berbagai kondisi tegangan (Wang, Xu, & Shou, 2016)



Desain Dan Pengembangan Alat Uji Tonjolan Hidrolik (Hydraulic Bulge Test) Sederhana Berbiaya Rendah Untuk Karakterisasi Mampu Bentuk Logam Lembaran Tipis (Metal Foil) pada Kondisi Regangan Biaksial Murni

Gambar.1 Perbandingan antara kurva *tensile* dan *bulge test*

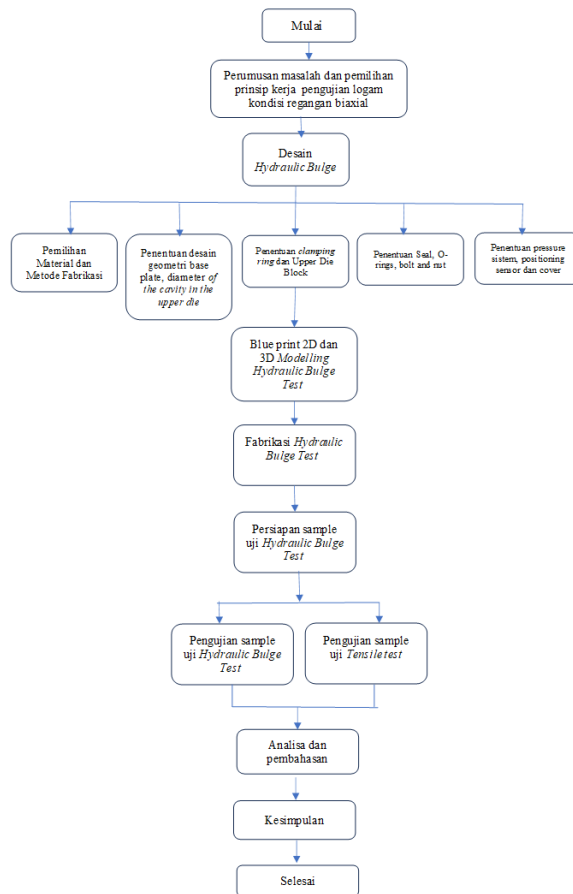
Uji punch Nakazima, meskipun banyak digunakan, masih menghadapi kendala seperti gesekan antara punch dan spesimen. Gesekan merupakan fenomena umum dalam pengujian ini, dipengaruhi oleh jenis bahan, kekasaran permukaan, dan pelumasan, yang mempengaruhi hasil pengujian. Sebaliknya, uji bulge hidrolik dapat secara akurat menentukan batas kemampuan bentuk tanpa pengaruh gesekan yang signifikan, membuatnya lebih sederhana dalam desain dan lebih efektif (Abendroth, 2017) (Vasilescu, 2016).

Seiring berkembangnya bahan baru seperti Advanced High Strength Steels (AHSS) untuk aplikasi otomotif, diperlukan evaluasi ulang dan modifikasi alat pengujian yang ada untuk mengakomodasi kekuatan tarik yang tinggi (Baluch, Udin, & Abdullah, 2014). Ini membuka peluang untuk merancang alat uji baru yang lebih sederhana dan terjangkau untuk karakterisasi kemampuan bentuk logam lembaran tipis.

Uji bulge hidrolik memainkan peran penting dalam mengevaluasi perilaku aliran bahan lembaran di bawah tegangan biaksial yang seimbang. Dalam pengujian ini, lembaran bundar dijepit di sekelilingnya dan diberi tekanan dari satu sisi dengan fluida hidrolik, sehingga lembaran meregang dan membentuk tonjolan melalui pembukaan die (Cahyono & Irmawati, 2018; Majanasatra, 2016). Hingga saat ini, alat uji bulge hidrolik belum banyak tersedia di Indonesia. Mengingat keunggulannya, penelitian ini fokus pada desain dan pengembangan alat uji bulge hidrolik yang sederhana dan berbiaya rendah untuk menentukan n-value dari lembaran logam tipis dalam kondisi regangan biaksial murni.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang alat uji bulge hidrolik yang terjangkau dan sederhana. Melakukan karakterisasi kemampuan bentuk logam lembaran tipis dengan akurat. Menilai kemampuan bentuk logam di bawah regangan biaksial menggunakan alat ini. Meningkatkan aksesibilitas alat dengan menyediakan panduan desain dan operasional yang detail agar dapat direplikasi di lingkungan pendidikan dan industri skala kecil.

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini berfokus pada desain dan pengembangan alat uji hydraulic bulge test sederhana berbiaya rendah untuk karakterisasi mampu bentuk logam lembaran tipis (metal foil) pada kondisi regangan biaxial murni mengetahui N value pada sheet metal. Penelitian ini dilakukan di laboratorium metalurgi fisik dan metalurgi mekanik, Departemen Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.

Untuk menganalisis data dari pengujian hydraulic bulge test dan memverifikasi fungsi alat, berbagai metode statistik dapat digunakan. Metode ini membantu dalam memahami variabilitas data, menilai keandalan pengukuran, dan mengevaluasi efektivitas alat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Detail Engineering Desain (DED)

Bagian ini menguraikan tahap pemilihan material, metode fabrikasi, dan perancangan komponen utama alat uji tonjolan hidrolik.

Pemilihan Material dan Metode Fabrikasi

Material utama untuk alat uji adalah baja karbon ASTM A105 dengan kandungan karbon 0,35%. Material ini dipilih karena kekuatannya dan kemampuannya untuk menahan tekanan tinggi selama pengujian. Proses fabrikasi mencakup pemesinan turning sesuai geometri desain untuk mendapatkan komponen yang presisi.

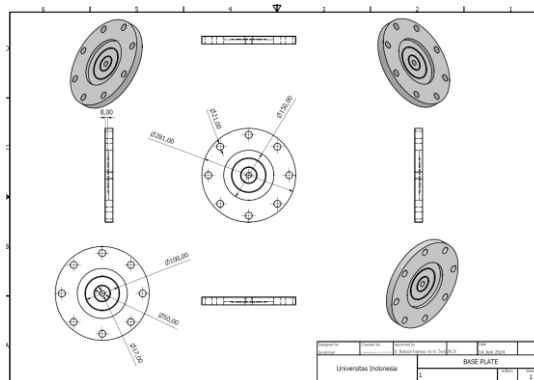
Desain Dan Pengembangan Alat Uji Tonjolan Hidrolik (Hydraulic Bulge Test) Sederhana Berbiaya Rendah Untuk Karakterisasi Mampu Bentuk Logam Lembaran Tipis (Metal Foil) pada Kondisi Regangan Biaksial Murni

Desain Geometri Base Plate

Base plate berfungsi sebagai dudukan spesimen dan ruang fluida hidrolik untuk memberikan tekanan.

Spesifikasi geometri meliputi (RIYANTO, 2015):

1. Diameter luar: 281 mm (berdasarkan material blind flange 6 inci)
2. Diameter lubang cairan hidrolik: 16 mm (dengan sambungan ulir thread)
3. Alur Draw Bead: Diameter 50 mm dan 100 mm
4. Diameter area benda kerja: 150 mm



Gambar 2 Detail Engineering Desain Base Plate

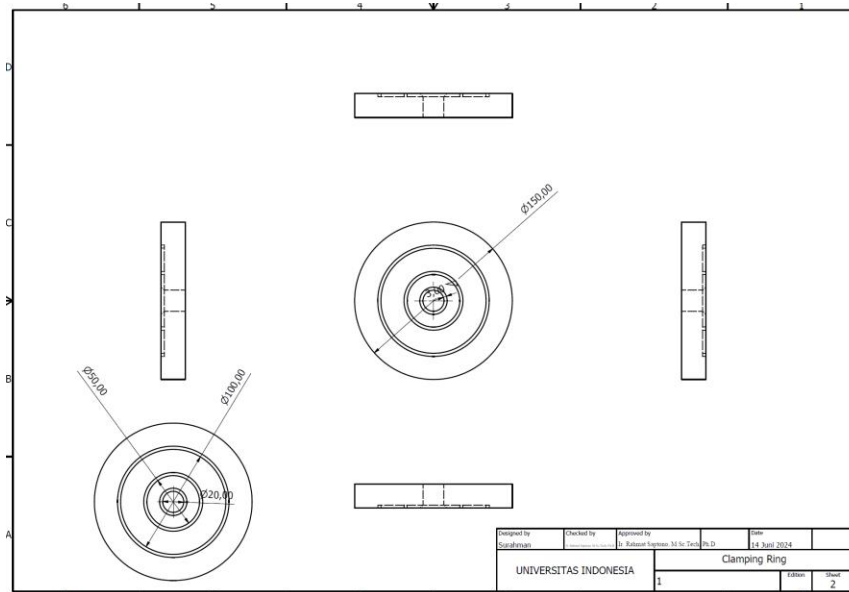
Penentuan *clamping ring* dan *Upper Die Block*

Clamping ring berfungsi menjepit spesimen antara *base plate* dan *upper die block*, mengatur area bulge.

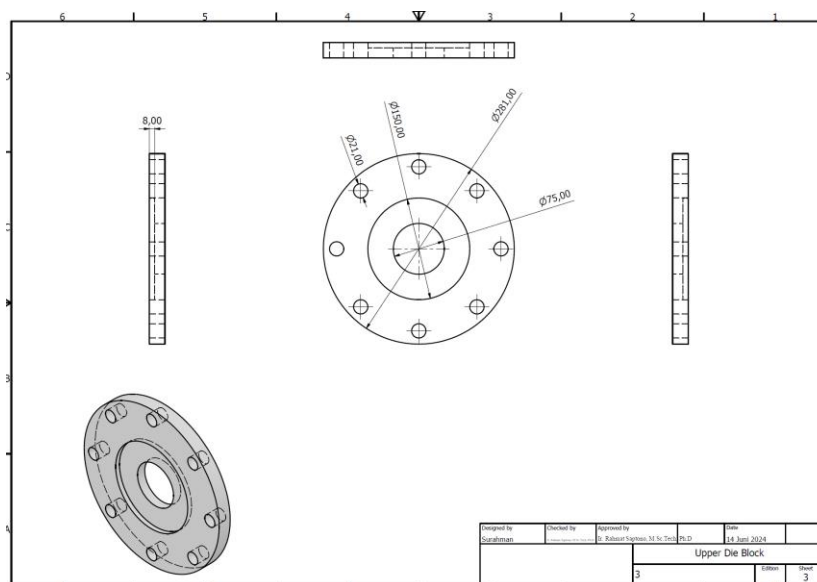
Spesifikasi:

1. Diameter luar *clamping ring*: 150 mm
2. Diameter dalam cavity: 20 mm (dengan chamfer untuk mengurangi gangguan selama pembentukan bulge)
3. *Upper die block*: Diameter luar 281 mm, diameter dalam 150 mm, dan diameter pengamatan area tonjolan 75 mm

Desain ini memungkinkan kontrol yang tepat terhadap area bulge dan mencegah kebocoran selama pengujian.



Gambar 3. Detail Engineering Desain Clamping Ring



Gambar 4. Detail Engineering Desain Upper Die Block

Penentuan Seal, O-rings, bolt and nut

Seal dan O-rings mencegah kebocoran pada clamping ring:

1. Diameter O-rings: Sesuai dengan geometri Draw Bead (50 mm dan 100 mm)
2. Bolt and Nut: 8 buah dengan dimensi M20

Penggunaan komponen ini memastikan kerapatan sistem dan keamanan pengujian.

Penentuan pressure system, positioning sensor dan cover protection.

Sistem tekanan, sensor posisi, dan pelindung fluida dirancang sebagai berikut:

1. Pressure system: Enerpac hand pump P39, tekanan hingga 10.000 psi
2. Positioning sensor: Dial indicator digital dengan ketelitian 0,01 mm

Desain Dan Pengembangan Alat Uji Tonjolan Hidrolik (Hydraulic Bulge Test) Sederhana Berbiaya Rendah Untuk Karakterisasi Mampu Bentuk Logam Lembaran Tipis (Metal Foil) pada Kondisi Regangan Biaksial Murni

3. *Cover protection*: Akrilik untuk menjaga fluida tetap terisolasi selama pengujian

Desain ini memungkinkan pengujian tekanan yang terukur dan akurat, serta perlindungan fluida selama pengujian.



Gambar 5. Pressure system



Gambar 6 Dial Indicator dan Cover Protection akrilik

Proses Fabrikasi Alat

Fabrikasi dilakukan di Workshop Pemesinan PT Topaz Tali Limaz. Tahapan fabrikasi meliputi:

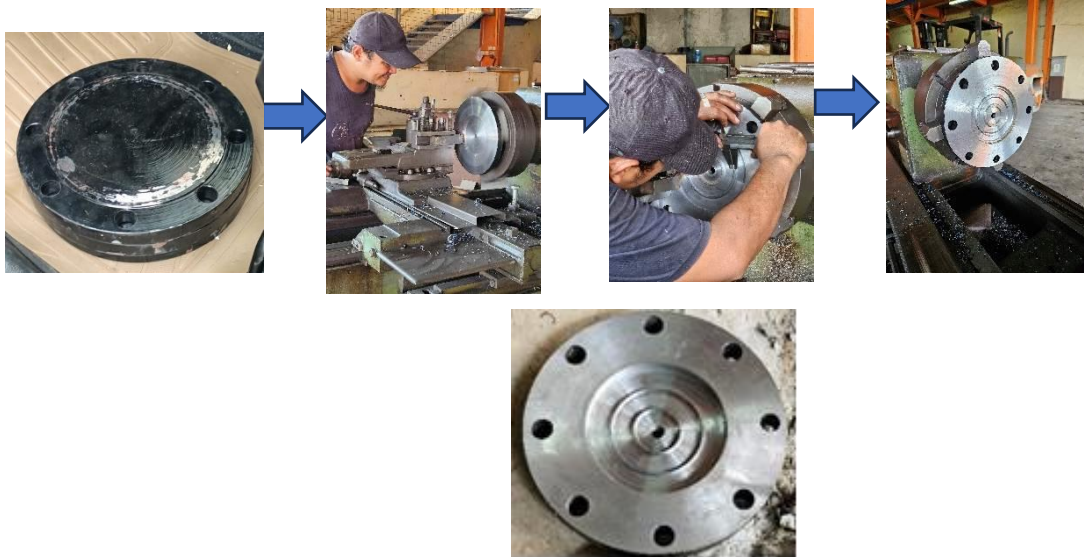
Fabrikasi *Base Plate*

Fabrikasi roses pemesinan base plate dilakukan dengan mesin bubut manual, mencakup:

1. Pembentukan diameter dalam dan alur *draw bead* Sesuai geometri desain untuk memastikan ruang fluida dan dudukan spesimen presisi.



Gambar 7 Mesin Bubut yang digunakan untuk Proses Pemesinan

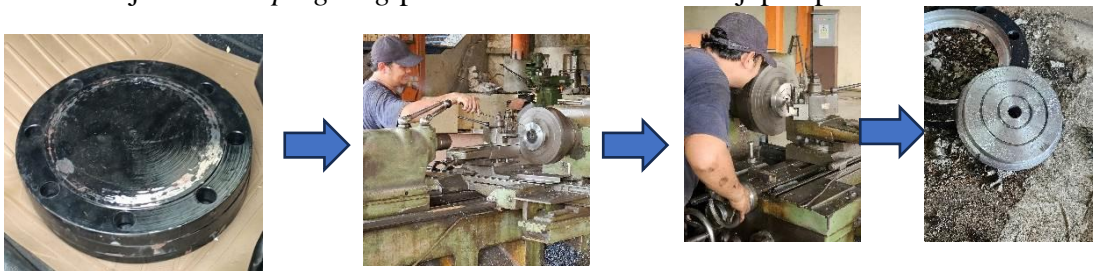


Gambar 8. Proses Pemesinan Base Plate

Fabrikasi Clamping Ring

Fabrikasi Proses pemesinan clamping ring meliputi:

2. Pembentukan diameter luar, alur draw bead, dan cavity bulge
3. Menjamin *clamping ring* pas dan efektif dalam menjepit spesimen

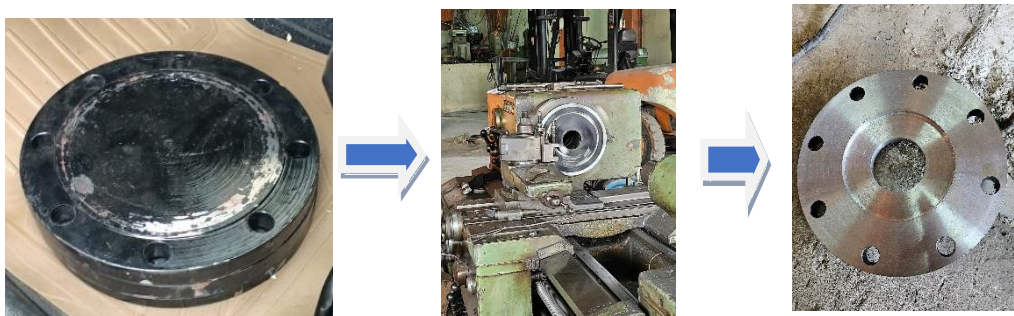


Gambar 9. Proses Pemesinan Clamping Ring

Fabrikasi Upper Die Block

Fabrikasi Pemesinan upper die block meliputi:

- . Pembentukan diameter dalam dan alur penjepitan Sesuai geometri desain untuk pengikatan dengan base plate dan optimalisasi penjepitan spesimen

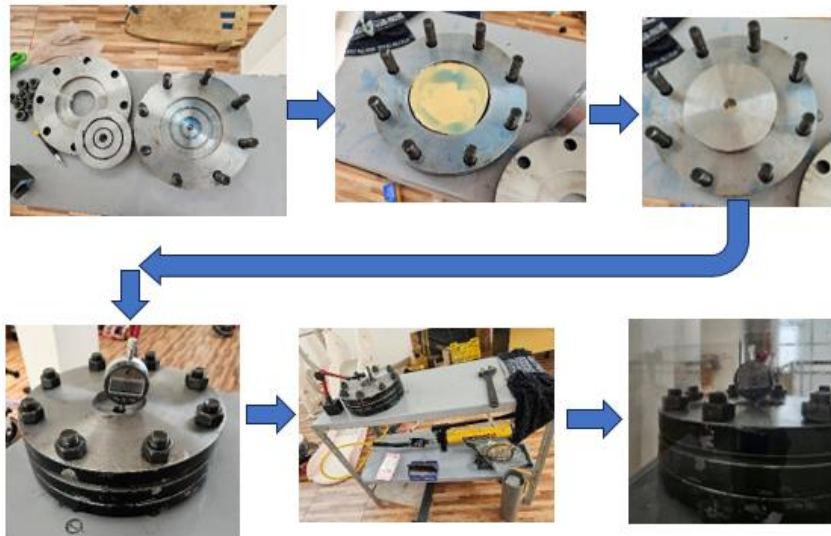


Gambar 10 Proses Pemesinan Upper Die Block

Desain Dan Pengembangan Alat Uji Tonjolan Hidrolik (Hydraulic Bulge Test) Sederhana Berbiaya Rendah Untuk Karakterisasi Mampu Bentuk Logam Lembaran Tipis (Metal Foil) pada Kondisi Regangan Biaksial Murni

Pengujian Cara Kerja Alat

Setelah fabrikasi, alat dirakit dan diuji. Langkah-langkah pengujian meliputi



Gambar 10 Proses Pengujian Cara Kerja Alat

1. Menempatkan *base plate* pada meja kerja
2. Mengatur baut pada lubang pengikat
3. Meletakkan spesimen di dalam alur spesimen
4. Memasang clamping ring di atas spesimen
5. Memasang upper die block dan mengatur *dial indicator* untuk menyentuh permukaan spesimen
6. Kalibrasi dial indicator ke 0
7. Menghubungkan sistem tekanan
8. Menutup cover akrilik
9. Melakukan *pumping* dan merekam tekanan serta ketinggian tonjolan menggunakan dial indicator

Pengujian Kemampuan

Bentuk Logam Lembaran Tipis

Validasi alat dilakukan dengan menguji lembaran kuningan tebal 0,2 mm. Spesimen dibentuk sesuai desain dies (diameter 150 mm). Pengujian meliputi:

1. Mengamati kurva tegangan vs. regangan dari spesimen kuningan
2. Menganalisis eksponen pengerasan regangan (*n-value*) dan membandingkannya dengan hasil literatur

Gambar-gambar terkait dan hasil pengujian menunjukkan alat berfungsi dengan baik untuk karakterisasi material, dengan hasil *n-value* untuk kuningan berada dalam kisaran yang diharapkan, yaitu 0,1 hingga 0,4.



Gambar 11 Spesimen Pengujian Uji Tonjolan Hidrolik Material Metal Foil Kuningan Tebal 0,2mm



Gambar 12. Spesimen Setelah Dilakukan Pengujian Uji Tonjolan Hidrolik Material Metal Foil

Hasil Perhitungan Eksponen Pengerasan Regangan (nilai n)

Sample uji kuningan ke-1 sebagai berikut:

- Diameter bulge : 20 mm
- Ketebalan lembar kuningan : 0.2 mm

Data hasil bacaan tekanan berbanding tinggi bulge sebagai berikut:

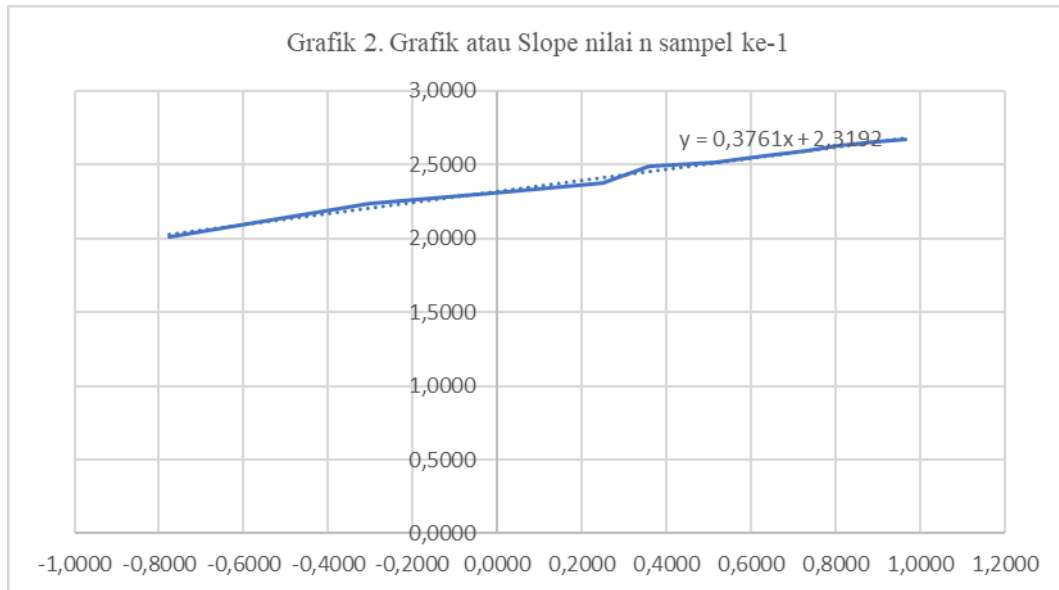
Tabel 1. Hasil Bacaan Pengujian Sampel ke-1

Pressure (P) (MPa)	Bulge Height (h) (mm)
0,689	1,530
1,379	2,090
2,068	2,660
2,758	3,230
3,447	3,570
4,137	4,150
4,826	4,690
5,516	5,260
6,205	5,780
6,895	6,450
7,584	7,160

Desain Dan Pengembangan Alat Uji Tonjolan Hidrolik (Hydraulic Bulge Test) Sederhana Berbiaya Rendah Untuk Karakterisasi Mampu Bentuk Logam Lembaran Tipis (Metal Foil) pada Kondisi Regangan Biaksial Murni

Perhitungan eksponen pengerasan regangan (nilai-n) sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Perhitungan Nilai n Sampel ke-1



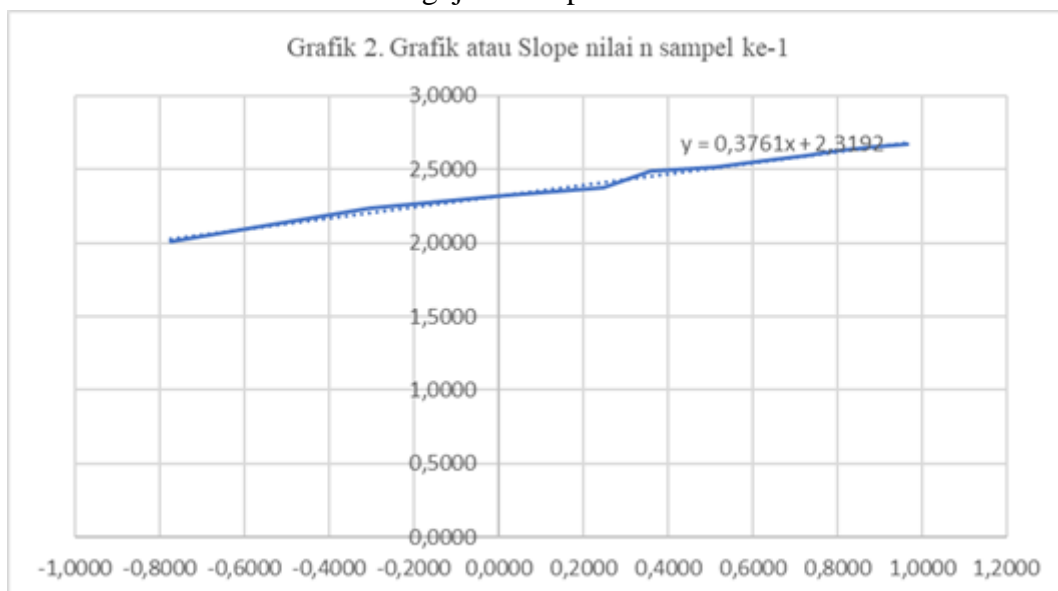
Dari grafik di atas didapatkan nilai n lembaran kuningan sampel ke-1 adalah 0,3761.

Sample uji kuningan ke-2 sebagai berikut:

1. Diameter bulge : 20 mm
2. Ketebalan lembar kuningan : 0.2 mm

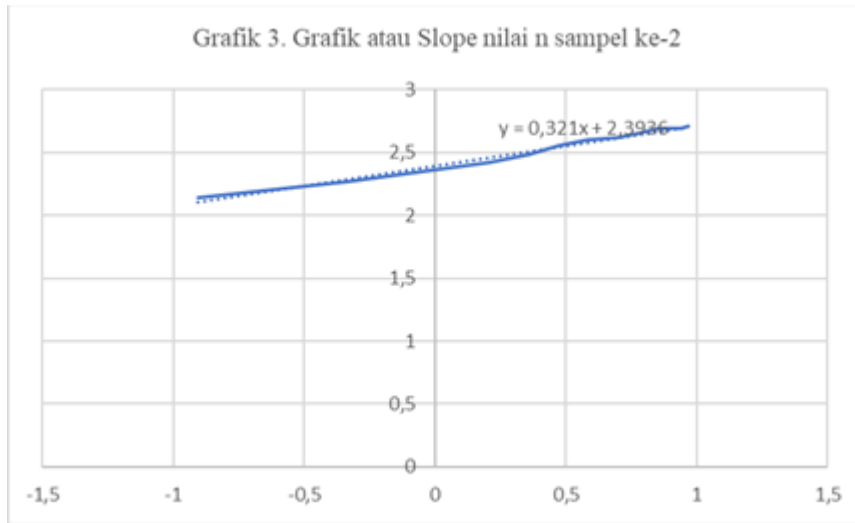
Data hasil bacaan tekanan berbanding tinggi bulge sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Bacaan Pengujian Sampel ke-2



Perhitungan eksponen pengerasan regangan (nilai-n) sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Perhitungan Nilai n Sampel Ke-2



Dari grafik di atas didapatkan nilai n lembaran kuningan sampel ke-2 adalah 0,321.

Sample uji kuningan ke-3 sebagai berikut:

- Diameter bulge : 20 mm
- Ketebalan lembar kuningan : 0.2 mm

Data hasil bacaan tekanan berbanding tinggi bulge sebagai berikut:

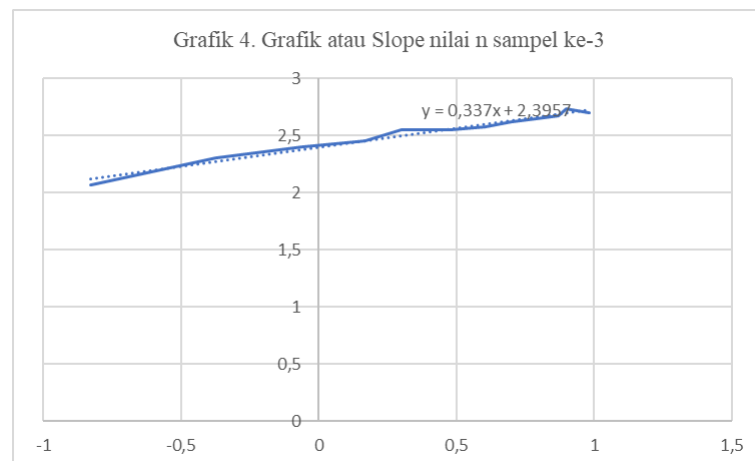
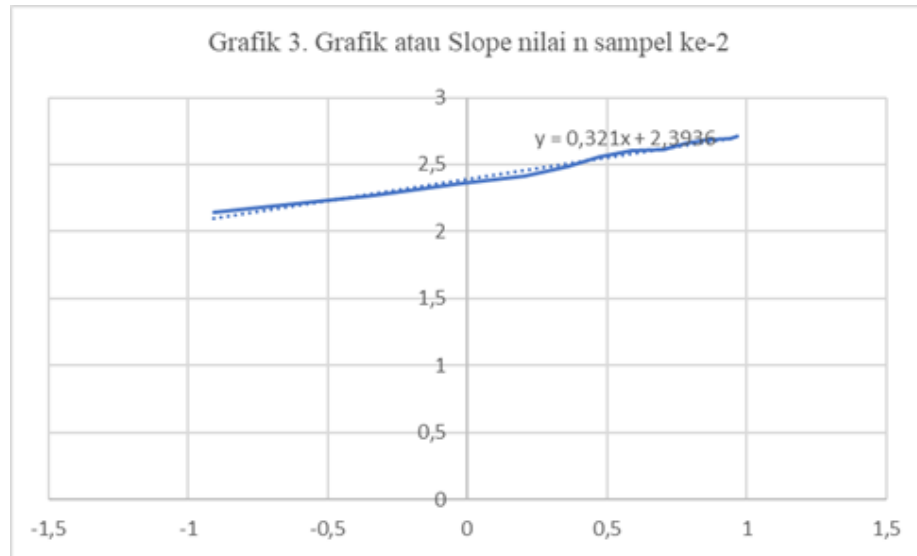
Tabel 5. Hasil Bacaan Pengujian Sampel ke-3

Pressure (P) (MPa)	Bulge Height (h) (mm)
0,689	1,480
1,379	1,990
2,068	2,500
2,758	3,010
3,447	3,380
4,137	4,010
4,826	4,580
5,516	5,080
6,205	5,650
6,895	6,280
7,584	6,540
7,929	7,330

Perhitungan eksponen pengerasan regangan (nilai-n) sebagai berikut:

Desain Dan Pengembangan Alat Uji Tonjolan Hidrolik (Hydraulic Bulge Test) Sederhana Berbiaya Rendah Untuk Karakterisasi Mampu Bentuk Logam Lembaran Tipis (Metal Foil) pada Kondisi Regangan Biaksial Murni

Tabel 6. Hasil Perhitungan Nilai n Sampel Ke-3.



Dari grafik di atas didapatkan nilai n lembaran kuningan sampel ke-2 adalah 0,337.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa Alat uji bulge hidrolik dirancang dengan material dan komponen sederhana serta berbiaya rendah. Alat ini dapat digunakan untuk karakterisasi kemampuan bentuk material lembaran tipis dengan akurat. Pengujian spesimen kuningan menunjukkan kisaran n-value antara 0,1 hingga 0,4.

BIBLIOGRAFI

- Abendroth, Martin. (2017). FEM analysis of small punch tests. *Key Engineering Materials*, 734, 23–36.
- Baluch, Nazim, Udin, Zulkifli Mohamed, & Abdullah, Che Sobry. (2014). Advanced high strength steel in auto industry: an overview. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 4(4), 686–689.

- Cahyono, Ivana Yunisa, & Irmawati, Dessy. (2018). Hood And Trunk Opening Of A Car Using Spartphone Based On Bluetooth Connection. *E-JPTE (Jurnal Elektronik Pendidikan Teknik Elektronika)*, 7(2), 88–106.
- Haryanti, Ninis Hadi. (2017). *Potensi serat alam sebagai material komposit*. Lambung Mangkurat University Press.
- Koh, Cheok Wei. (2008). *Design of a hydraulic bulge test apparatus*. Massachusetts Institute of Technology.
- Majanasastra, R. Bagus Suryasa. (2016). Analisis sifat mekanik dan struktur mikro hasil proses hydroforming pada material tembaga (Cu) C84800 dan aluminium Al 6063. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4(2), 15–30.
- Martínez Palmeth, Luis Humberto, Gonzales Carmona, María Angelica, & Miranda Castro, José. (2021). Design and analysis of a bulge test device. *Ingeniería e Investigación*, 41(3).
- Nasser, A., Yadav, A., Pathak, P., & Altan, T. (2010). Determination of the flow stress of five AHSS sheet materials (DP 600, DP 780, DP 780-CR, DP 780-HY and TRIP 780) using the uniaxial tensile and the biaxial Viscous Pressure Bulge (VPB) tests. *Journal of Materials Processing Technology*, 210(3), 429–436.
- Neff, Patrizio, Eidel, Bernhard, & Martin, Robert J. (2016). Geometry of logarithmic strain measures in solid mechanics. *Archive for Rational Mechanics and Analysis*, 222, 507–572.
- Pratama, Hermawan Suryo Aji, Anggono, Agus Dwi, & Hendrawan, Muh Alfatih. (2016). *Analisis Hasil Uji Cup Drawing Dan Kemampuan Tarik Tailor Welded Blanks (TWB) Menggunakan Sambungan Las Titik Dengan Variasi Ketebalan Plat*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- RIYANTO, SETO AGUNG. (2015). *Optimalisasi Proses Injeksi Molding Menggunakan Moldflow Dual-Domain Pada Desain Base Plate*. UAJY.
- Suripto, Heri, & Anwar, Saiful. (2020). Desain dan Pengembangan Prototipe Alat Uji Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro dengan Back Flow Water System. *JTERA (Jurnal Teknol. Rekayasa)*, 5(2), 221.
- Vasilescu, Mario. (2016). *Development of a hydraulic bulge test to determine the work hardening behaviour of sheet materials*. University of Windsor (Canada).
- Wang, Hankui, Xu, Tong, & Shou, Binan. (2016). Determination of material strengths by hydraulic bulge test. *Materials*, 10(1), 23.
- Wicaksono, Bimmo. (2022). *Desain Dan Simulasi Alat Uji Telapak Kaki Palsu*.

Copyright holder:

Surahman (2024)

First publication right:

[Syntax Idea](#)

This article is licensed under:

