

**Pengembangan Mesin Uji Tekuk
Plat Baja Dengan Ketebalan
Plat Maksimum 3 mm & Lebar 40 mm**

SKRIPSI

Oleh:

Nama : Miftah Rosyad Indrayanto

NPM : 173030076



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2022**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Miftah Rosyad Indrayanto

Nomor Pokok Mahasiswa: 173030076

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Dalam Skripsi yang saya kerjakan ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan/ditulis oleh orang lain untuk memperoleh gelar dari suatu perguruan tinggi.
2. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu/dikutip/disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam referensi.
3. Naskah laporan skripsi yang ditulis bukan dilakukan secara *copy paste* dari karya orang lain dan mengganti beberapa kata yang tidak perlu.
4. Naskah laporan skripsi bukan hasil plagiarisme.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka saya sanggup menerima hukuman/sanksi apapun sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 4 Agustus 2022

Penulis,

Materai 10.000

Miftah Rosyad Indrayanto

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini, sebagai sivitas akademik Universitas Pasundan, saya:

Nama : Miftah Rosyad Indrayanto

NPM : 173030076

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Menyatakan bahwa untuk mendukung pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, saya menyetujui memberikan kepada Universitas Pasundan Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Pengembangan Mesin Uji Tekuk Plat Baja Dengan Ketebalan Plat Maksimum 3 mm & Lebar 40 mm

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pakalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta,

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bandung, 4 Agustus 2022

Yang menyatakan,

Materai 10.000

Miftah Rosyad Indrayanto

LEMBAR PENGESAHAN

Pengembangan Mesin Uji Tekuk Plat Baja Dengan Ketebalan Plat Maksimum 3
mm & Lebar 40 mm



Nama : Miftah Rosyad Indrayanto

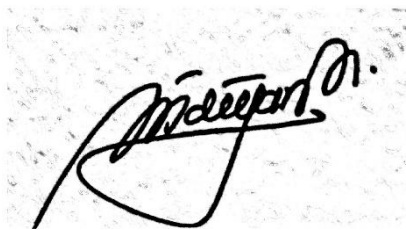
NPM : 173030076

Pembimbing Utama



Ir. Agus Sentana, MT

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. Widiyanti Kwintarini, MT

KATA PENGANTAR



Puji dan syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas berkah dan nikmat rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Usulan Penelitian ini. Shalawat , serta salam selalu tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Besar Muhammad SAW, yang senantiasa menjadi sumber inspirasi dan teladan terbaik untuk umat manusia.

Penulis mengetahui Laporan Usulan Penelitian yang telah disusun ini masih belum sempurna karena keterbatasan dari penulis, oleh karena itu saran dan kritik yang membangun sangat dibutuhkan untuk kedepannya penulis bisa lebih baik lagi.

Selesainya penulisan Laporan Usulan Penelitian ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada yang sudah mendukung, membantu, serta membimbing selama penulisan Laporan Usulan Penelitian kepada :

1. Bapak Sriyanta dan Ibu Aminah selaku orang tua tercinta yang selalu memberikan dukungan dan mendoakan penulis yang tiada henti.
2. Bapak Ir. Agus Sentana, MT selaku Pembimbing I dan ibu Dr. Ir. Widiyanti Kwintarini, MT selaku pembimbing II.
3. Rekan-rekan Teknik Mesin Angkatan 2017 yang saling memberikan motivasi.

Penulis berharap penulisan Laporan Usulan Penelitian ini mampu bermanfaat, khususnya untuk penulis sendiri, para pembaca dan semua pihak yang telah mendukung pembuatan laporan ini.

Atas segala kekurangan dan ketidaksempurnaan Laporan usulan penelitian ini, penulis sangat mengharapkan masukan, kritik dan saran yang bersifat membangun kearah perbaikan

dan penyempurnaan dari laporan usulan penelitian ini guna menunjang agar pengerjaan skripsi kedepannya menjadi lebih baik lagi.

Akhir kata penulis berharap semoga laporan usulan penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak dan semoga amal baik yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan dari Allah SWT.

Bandung, 22 Januari 2022

Miftah Rosyad Indrayanto

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN	i
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
ABSTRAK	x
<i>ABSTRACT</i>	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1. Latar Belakang	1
2. Rumusan Masalah	1
3. Tujuan	1
4. Manfaat	2
5. Batasan Masalah	2
6. Sistematika Penulisan	2
BAB II STUDI LITERATUR	3
1. Kajian Pustaka	3
2. Proses Penekukan	4
3. Spesifikasi Mesin Uji Tekuk	5
4. Komponen-komponen Mesin Uji Tekuk	6
5. <i>Load Cell</i>	8
6. Arduino	9
BAB III METODE PENELITIAN	10
1. Tahapan Penelitian	10
2. Jadwal Kegiatan	11
3. Tempat Penelitian	11
4. Setup Pengukuran/Pengujian	12
5. Alat Ukur dan Bahan yang digunakan	12
6. Metode Pengolahan Data Hasil Pengukuran/Pengujian	12
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	13
1. Menentukan Kapasitas <i>Load Cell</i>	13
2. Rangkaian <i>Loadcell</i>	14
	vi

3.	Desain Mesin Uji Tekuk.....	14
4.	Kalibrasi <i>Load cell</i>	15
5.	Hasil Pengujian	16
5.	Analisis	18
6.	Standar ASTM E290	21
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		22
1.	Kesimpulan	22
2.	Saran	22
DAFTAR PUSTAKA		23
LAMPIRAN		26
1.	Data hasil pengujian/pengukuran	26
2.	Hasil Pengolahan Data.....	33
3.	Foto-Foto Kegiatan.....	34
4.	Gambar Teknik.....	35
5.	Gambar Kerja.....	36
6.	<i>Compression Load Cell</i>	37
7.	<i>Standard ASTM</i>	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Mesin Uji Tekuk [1]	5
Gambar 2. <i>Pillow Block</i> [1].....	6
Gambar 3. Roda Gigi [1]	6
Gambar 4. Poros [1].....	7
Gambar 5. Reducer [1]	7
Gambar 6. Motor Listrik [1]	8
Gambar 7. Rangkaian <i>Load-Cell</i> [2]	8
Gambar 8. <i>Load Cell</i> [2]	9
Gambar 9. Arduino [3].....	9
Gambar 10. Diagram Alir Penelitian.....	10
Gambar 11. Tempat Penilitan	11
Gambar 12. Rangkaian <i>Load Cell</i>	14
Gambar 13. Mesin Bending Sesudah Pengembangan.....	14
Gambar 14. Mesin Uji Tekuk Sebelum Pengembangan	14
Gambar 15. Mesin Uji Tekuk Sesudah Pengembangan.....	15
Gambar 16. Cara Kerja <i>Load cell</i>	15
Gambar 17. Kalibrasi <i>Load cell</i>	16
Gambar 18. Plat Baja ST-37	17
Gambar 19. Plat Baja ST-34	17
Gambar 20. Plat Baja ST-31	17
Gambar 21. Gaya Penekukan Maksimum dengan Waktu	18
Gambar 22. <i>Load cell</i> 1 buah.....	18
Gambar 23. <i>Load cell</i> 2 buah	19
Gambar 24. <i>Load cell</i> 3 buah.....	19
Gambar 25. <i>Load cell</i> di bawah & solongsong.....	20
Gambar 26. <i>Load cell Strain Gauge</i>	20
Gambar 27. Ukuran <i>Load cell Strain Gauge</i>	21
Gambar 28. Grafik Pengujian Tekuk	33
Gambar 29. Proses Pengeboran	34
Gambar 30. Proses Penekukan	34
Gambar 31. Proses Kalibrasi	34
Gambar 32. Proses Pengeboran 2	34
Gambar 33. Gambar Teknik Mesin Uji Tekuk	35
Gambar 34. Gambar Kerja Mesin Uji Tekuk	36
Gambar 35. <i>Compression Load Cell</i>	37

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Jadwal Kegiatan	11
Tabel 2. Data Pengujian Gaya Tekuk	16
Tabel 3. Data hasil pengujian	26

ABSTRAK

Mesin uji tekuk adalah mesin yang digunakan untuk proses pembentukan dengan menekuk benda kerja hingga mengalami perubahan bentuk (deformasi) yang menimbulkan peregangan logam sekitar daerah garis netral. Kekurangan mesin uji tekuk yang tersedia dilaboratorium Teknik Produksi, Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasundan tidak adanya alat ukur untuk mengetahui batas kekerasan maksimum saat gaya diberikan kepada benda kerja. Maka dari pada itu, perlu dilakukan pengembangan mesin uji tekuk. Untuk mengetahui besar maksimum gaya tekuk perlu ditambahkan *load cell* di mesin uji tekuk agar dapat menentukan besar gaya tekuk saat proses penekukan material dengan cara pengujian dan perhitungan. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai sarana untuk keperluan praktikum.

Kata Kunci : *Load cell*, mesin uji tekuk dan gaya tekuk

ABSTRACT

Bending machine is a machine used for the forming process by bending the workpiece until it changes shape (deformation) which causes stretching of the metal around the neutral line area. Disadvantages of bending machines available in the Laboratory of Production Engineering, Mechanical Engineering Study Program, University of Pasundan, do not have a measuring instrument to determine the maximum hardness limit when a force is applied to the workpiece. Therefore, it is necessary to modify the bending machine. To find out the maximum bending force, it is necessary to add a load cell in the bending machine in order to determine the amount of bending force during the material suppression process by means of testing and calculations. It is hoped that the results of this study can be used as a means for practical purposes.

Keywords: Load cell, bending machine and bending force

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Mesin Uji Tekuk artinya mesin yang proses pengerjaannya memberikan tekukan pada bagian tertentu sehingga terjadi deformasi pada bagian yang diberi tekukan. Proses tekuk dilakukan dengan cara menekuk material hingga mengalami perubahan bentuk.

Destructive Test adalah pengujian yang dilakukan suatu material sampai mengalami kerusakan. Tujuan metode pengujian logam ini adalah untuk mengetahui besar gaya suatu material dengan proses menggunakan alat uji atau mesin uji melalui cara ditekuk dan dilengkungkan sehingga materi yang dirusak dapat diketahui kualitasnya. Pengujian uji tekuk yang dilakukan di laboratorium Teknik Produksi, digunakan untuk menguji kekuatan benda kerja, sedangkan untuk mengetahui kekuatan benda kerja perlu diketahui besar gaya tekuk.

Mesin uji tekuk mampu menekuk hingga radius 50 mm dengan kedalaman penekukan 146 mm untuk ketebalan 3 mm dengan jenis material baja karbon rendah. Mesin uji tekuk ini dikhususkan untuk menekuk material yang berbentuk plat logam.

Mesin Uji Tekuk yang tersedia dilaboratorium Teknik Produksi Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasundan belum dilengkapi alat ukur selama proses penekukan. Berdasarkan masalah diatas, pengembangan mesin uji tekuk untuk keperluan praktikum perlu di realisasikan, maka mesin uji tekuk ini perlu diberi alat ukur untuk mengetahui besar gaya tekuk pada benda kerja untuk mengetahui batas deformasi benda kerja. Alat ukur gaya menggunakan *load cell* dengan *display* untuk menampilkan hasil pengukuran.

2. Rumusan Masalah

Bagaimana mengukur besar gaya tekuk maksimum yang bekerja pada saat proses pengujian penekukan.

3. Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan mesin uji tekuk yang ada di laboratorium agar dapat mengukur besar gaya penekukan maksimum.

4. Manfaat

Mempermudah praktikan pada laboratorium Teknik Produksi untuk mengetahui besar gaya tekuk selama proses penekukan.

5. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

- Gaya penekukan maksimum 2378 kgf.
- Ketebalan plat 3 mm dan lebar plat 40 mm.

6. Sistematika Penulisan

Penyusunan penulisan laporan usulan penelitian ini, diuraikan dengan berdasarkan beberapa bab dan disajikan dalam bentuk susunan beserta:

BAB I: PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang masalah, identifikasi masalah, tujuan penelitian, lingkup penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II: STUDI LITERATUR

Bab ini menjelaskan mengenai beberapa teori sebagai landasan permasalahan untuk dikaji menjadi referensi.

BAB III: METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan mengenai metode-metode yang akan dilakukan untuk menyelesaikan studi penelitian.

BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi mengenai analisis dari evaluasi dan perhitungan ulang yang telah diolah dari data spesifikasi dan data kondisi eksisting.

BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil yang telah dilakukan melalui metode yang dirancang serta menyatakan pernyataan akhir dari uraian penjelasan serta saran-saran yang diberikan untuk pengembangan selanjutnya

DAFTAR PUSTAKA

BAB II STUDI LITERATUR

1. Kajian Pustaka

- Penelitian Oleh A. Pandu Wilantara

A. Pandu Wilantara dalam tulisannya yang berjudul *Perancangan Ulang Mesin Bending Test* mengatakan bahwa:

- a. Dapat merancang ulang mesin Bending Test yang mampu menekan spesimen uji hasil proses pengelasan hingga membentuk profil “U”.
 - b. Material uji yang akan digunakan adalah baja karbon rendah ST-37, yang memiliki harga tegangan tarik maksimum sebesar 400 MPa.
 - c. Kecepatan translasi ulir daya untuk menekuk spesimen adalah 21,54 mm/min.
- Penelitian Oleh Ardi Pratama Widyadana, Vera Methalina Afma dan Benedikta Anna Haulian Siboro

Ardi Pratama Widyadana, Vera Methalina Afma dan Benedikta Anna Haulian Siboro dalam tulisannya yang berjudul “Perancangan Mesin *Bending* untuk Menurunkan *Reject Mechanical Packing* Kapasitor” bahwa dari analisis pengolahan data, dapat disimpulkan bahwa pengurangan mekanis pada desain mekanik pasca desain mengalami penurunan yang signifikan dari 13,39% menjadi rata-rata 1,8%. Tingkat beban kerja berkurang dari 25,29% menit sebelum desain menjadi 6,23 menit setelah desain dieksekusi. Analisis pemrosesan data menunjukkan bahwa desain semi-otomatis pengemasan kapasitas proses pengemasan untuk produk kapasitor, meningkatkan waktu standar setelah desain dari 1,52 detik menjadi 1,02 detik.

- Penelitian Oleh Wisjnu P Marsis, Iswantoro

Wisjnu P Marsis, Iswantoro dalam tulisannya yang berjudul “Perancangan Mesin Bending Dengan Memanfaatkan Sistem Dongkrak Hidrolik Sederhana” bahwa:

- a. Bantalan luncur dapat menahan gaya radial yang lebih besar (gaya lebih kecil per unit luas penampang) dari bantalan peluru, sedangkan perancangan *pin sleeve* menggunakan bantalan luncur untuk kenyamanan pembuatan dan pemasangan.
- b. Proses penekukan ini harus satu kali setiap proses untuk satu kali penekukan supaya mendapatkan hasil yang baik.

- Penelitian Oleh Rusnandi Rusnandi, Ambo Intang, Angga Angkasa dan Rohmat Budi Santosa

Rusnandi Rusnandi, Ambo Intang, Angga Angkasa dan Rohmat Budi Santosa dalam tulisannya yang berjudul “Perancangan Mesin Bending Untuk Pipa Berdiameter Ssatu Inch Menggunakan Metode *Roll Bending*” bahwa proses pembentukan pipa dengan *roll* bending sudah banyak diaplikasikan pada kegiatan industri manufaktur. Pada proses bending pipa harus dilakukan dengan metode yang tepat supaya tidak mengurangi kekuatan material pada pipa tersebut. Setiap mesin bending pipa akan memiliki spesifikasi pengerollan masing-masing.

- Penelitian Oleh Bambang Kusharjanta, Tyas Ari Wibowo dan Wahyu Purwo Raharjo

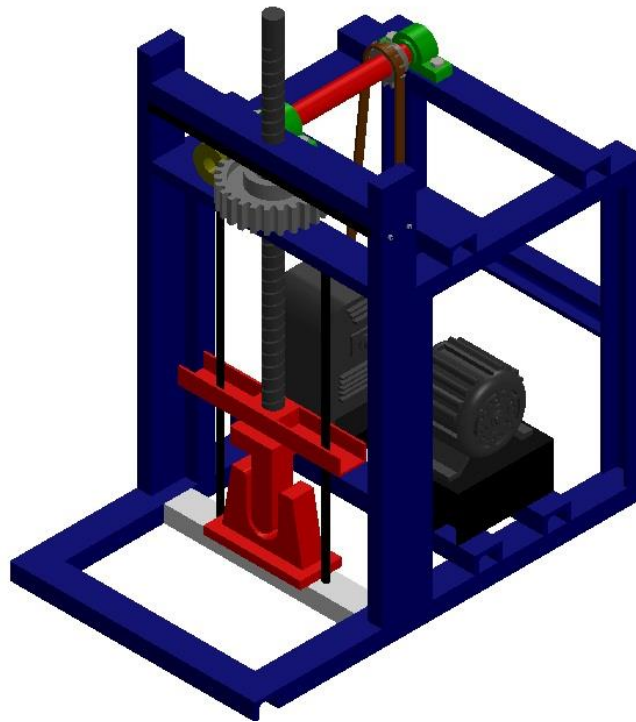
Bambang Kusharjanta, Tyas Ari Wibowo dan Wahyu Purwo Raharjo dalam tulisannya yang berjudul “Perancangan Dan Analisis Kekuatan Kontruksi Mesin Tekuk Plat Hidrolik” bahwa pengujian kekuatan konstruksi diketahui *Von misses Stress* masih dibawah dari batas kekuatan luluh material *punch* yang dipilih yaitu $1.750 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, dan maksimum sebesar $259,950 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ di bagian punch sehingga deformasi yang terjadi masih bersifat elastis, maka dari itu konstruksi mesin tekuk plat rancangan dinyatakan aman.

2. Proses Penekukan

Proses penekukan yang menggunakan alat tekuk manual atau menggunakan mesin uji tekuk. Proses tekuk adalah suatu cara pengerjaannya memberi tekukan di benda uji sehingga terjadi deformasi di benda uji yang diberi tekukan. Rangka mesin uji tekuk diharuskan memiliki kekuatan lebih besar dari kekuatan alat tekuk, supaya tidak adanya kerusakan pada rangka saat beroperasi. Alat penekuk berfungsi memberikan gaya tekuk pada material saat beroperasi. Alat penekuk diharuskan memiliki kekuatan lebih besar dari material yang di uji (ditekuk).

Proses tekuk ini termasuk salah satu cara pengujian suatu material dengan pengujian merusak (*destructive test*), terdapat dua kelompok cara pengujian suatu material yaitu pengujian tanpa merusak dan pengujian merusak.

3. Spesifikasi Mesin Uji Tekuk



Gambar 1. Mesin Uji Tekuk [1]

Spesifikasi:

Tegangan Luluh Maksimum : 420 MPa

Gaya Penekukan Maksimum : 23333 N

Daya Maksimum : 0,5 hp

Putaran Motor : 1400 rpm

Jenis Motor : 3 *phase*

Torsi Motor : 2,55 N.m

Torsi *Reducer* : 152,7 N.m

Torsi *Worm Gear* : 992,1 N.m

Putaran Ulir Daya : 3,59 rpm

Kecepatan Translasi : 21,54 mm/min

4. Komponen-komponen Mesin Uji Tekuk

a. *Pillow Block*

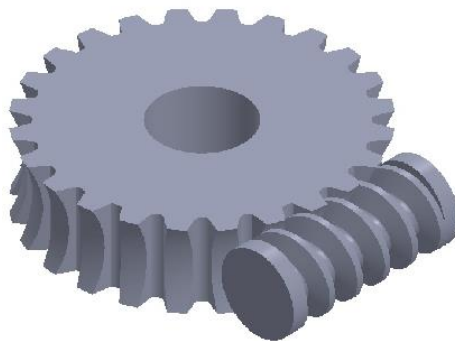
Pillow Block yaitu komponen yang menumpu poros berbeban, maka dari itu putaran bolak-baliknya mampu berlangsung secara aman dan halus. *Pillow Block* harus kokoh agar memungkinkan poros serta komponen mesin lainnya bekerja dengan baik.



Gambar 2. *Pillow Block* [1]

b. Roda Gigi

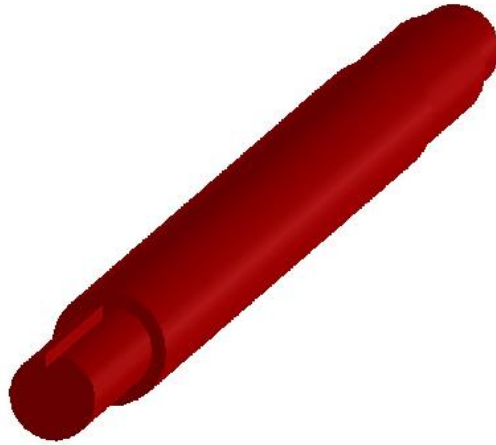
Roda gigi adalah komponen mesin yang berfungsi mentransmisikan daya. Transmisi roda gigi memiliki keunggulan dibandingkan dengan sabuk maupun rantai karena putaran lebih cepat, lebih ringkas dan daya yang lebih besar.



Gambar 3. Roda Gigi [1]

c. Poros

Poros merupakan salah satu komponen mesin terpenting dari setiap mesin dan peranan utama dalam transmisi.



Gambar 4. Poros [1]

d. Reducer

Reducer memiliki fungsi memindahkan tenaga penggerak pada mesin yang ingin digerakan dan untuk memperlambat kecepatan putaran dari tenaga dinamo motor dan mesin diesel.



Gambar 5. Reducer [1]

e. Motor Listrik

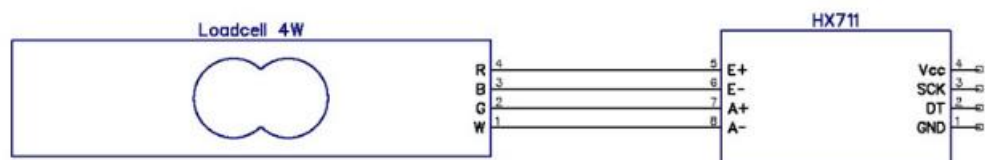
Motor listrik berfungsi merubah energi listrik menjadi energi mekanik. Perubahan ini dapat disebut elektro magnet karna mampu merubah tenaga listrik menjadi magnet.



Gambar 6. Motor Listrik [1]

5. *Load Cell*

Alat *load cell* adalah alat yang dibuat untuk mendeteksi tekukan gaya, umumnya alat *load cell* digunakan sebagai komponen utama pada sistem timbangan digital.



Gambar 7. Rangkaian Load Cell [2]

Kabel putih (W) adalah *output ground* sensor

Keterangan :

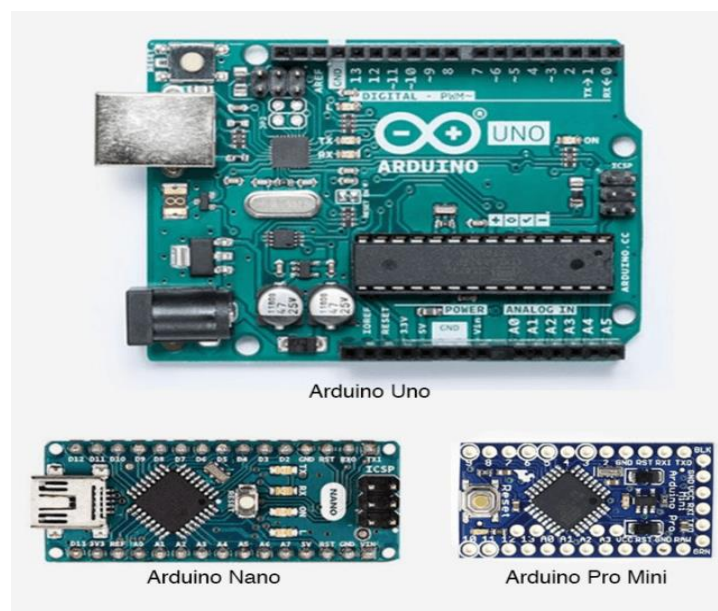
- Kabel merah (R) yaitu input tegangan sensor
- Kabel hitam (B) yaitu input ground sensor
- Kabel hijau (G) yaitu output positif sensor



Gambar 8. Load Cell [2]

6. Arduino

Arduino dapat didefinisikan sebagai *project open source* berbasis kit mikrokontroler untuk membangun objek interaktif dan perangkat digital yang mampu menyensor dan mengendalikan perangkat lain. Arduino ialah papan elektronik *open source* yang berisikan mikrokontroler dan rangkaian pendukungnya yang mampu di program.

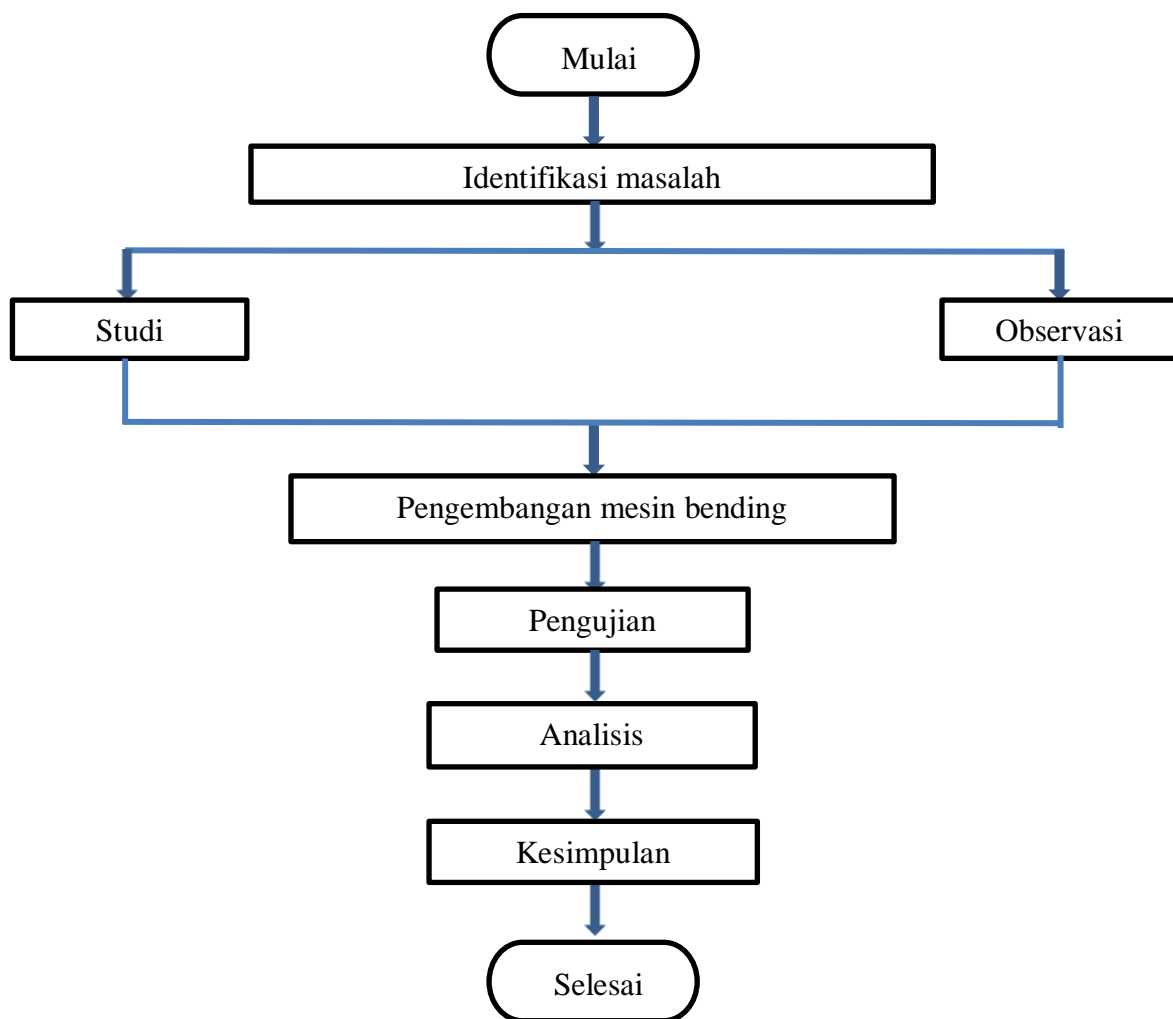


Gambar 9. Arduino [3]

BAB III METODE PENELITIAN

1. Tahapan Penelitian

Berikut ini adalah diagram alir penelitian sebuah alur kegiatan yang akan dilakukan oleh penulis:



Gambar 10. Diagram Alir Penelitian

2. Jadwal Kegiatan

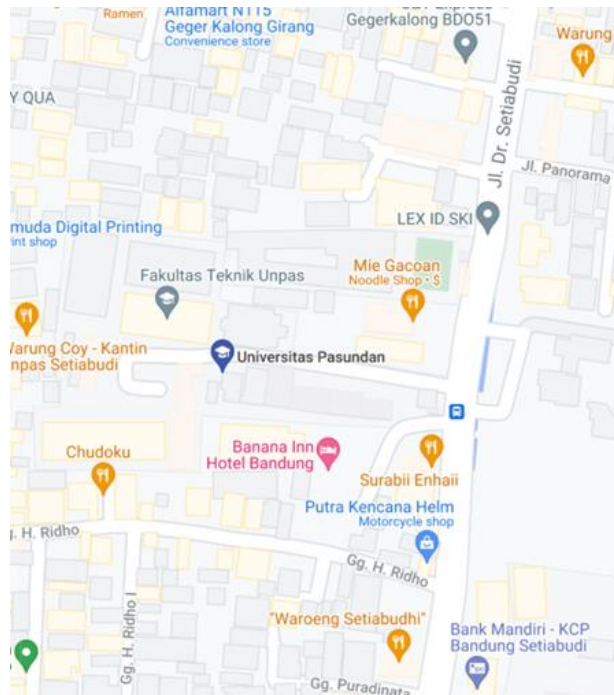
Berikut adalah rencana kegiatan yang akan dilakukan oleh penullis untuk menyelesaikan penelitian :

Tabel 1 Jadwal Kegiatan

Rencana Kegiatan Skripsi																				
Kegiatan	Februari 2022				Maret 2022				Apr-22				Mei 2022				Juni 2022			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Identifikasi Masalah																				
Studi Literatur	■	■																		
Seminar Usulan Penelitian			■	■																
Pengadaan Alat dan Bahan					■															
Pembuatan						■	■	■												
Pengujian									■	■	■	■								
Penyusunan Laporan													■	■	■	■				
Seminar Skripsi																	■	■		
Sidang Skripsi																			■	■

3. Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Teknik Produksi Teknik Mesin FT UNPAS jalan Dr. Setiabudi No, 193 Bandung.



Gambar 11. Tempat Penelitian

4. Setup Pengukuran/Pengujian

- Plat dipotong dengan ketebalan 3 mm dan lebar 40 mm
- *Setting* arduino sebelum pengujian
- Melakukan kalibrasi *load cell* sebelum pengujian
- Material plat baja di letakan di atas matras
- Mesin bending di nyalakan, ram menekan plat baja hingga mengalami deformasi
- Catat hasil pengukuran gaya tekuk

5. Alat Ukur dan Bahan yang digunakan

- Plat
- Ram
- Matras
- *Load cell*
- Display
- Arduino

6. Metode Pengolahan Data Hasil Pengukuran/Pengujian

- Melakukan pengukuran gaya tekuk yang diberikan pada benda kerja
- Mencatat data hasil pengukuran gaya tekuk melalui display yang di program oleh arduino

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Menentukan Kapasitas *Load Cell*

Material yang akan digunakan adalah baja karbon rendah, yaitu memiliki harga tegangan luluh maksimum (σ_y) sebesar 420 MPa. Dengan dimensi $L = 250$ mm, $b = 40$ mm dan $h = 3$ mm.

- Maka gaya tekuk maksimumnya adalah :

$$\sigma_y = \frac{M \times c}{I}$$

$$\sigma_y = \frac{\frac{F(x)}{2} \times c}{\frac{bh^3}{12}}$$

$$420 \text{ Mpa} = \frac{\frac{F(20)}{2} \times 20 \text{ mm}}{\frac{40 \text{ mm} \times 3^3 \text{ mm}}{12}}$$

$$420 \text{ Mpa} = \frac{10F \times 20 \text{ mm}}{90 \text{ mm}^2}$$

$$10F = \frac{420 \text{ Mpa}}{\frac{20 \text{ mm}}{90 \text{ mm}^2}}$$

$$10F = \frac{420.000.000 \text{ N/mm}^2}{\frac{20 \text{ mm}}{90 \text{ mm}^2}} = \frac{210.000.000 \text{ N/mm}^2}{90 \text{ mm}^2}$$

$$10F = 233.333 \text{ N}$$

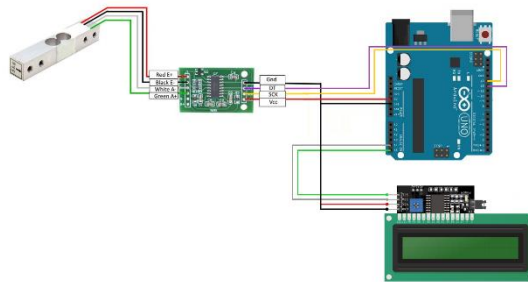
$$F = \frac{233.333 \text{ N}}{10}$$

$$= 23333 \text{ N} = 2378 \text{ kgf}$$

Dari hasil perhitungan diketahui gaya penekukan maksimum sebesar 2378 kgf, maka kapasitas *load cell* sebesar yang diperlukan sebesar 5000 kg.

2. Rangkaian *Loadcell*

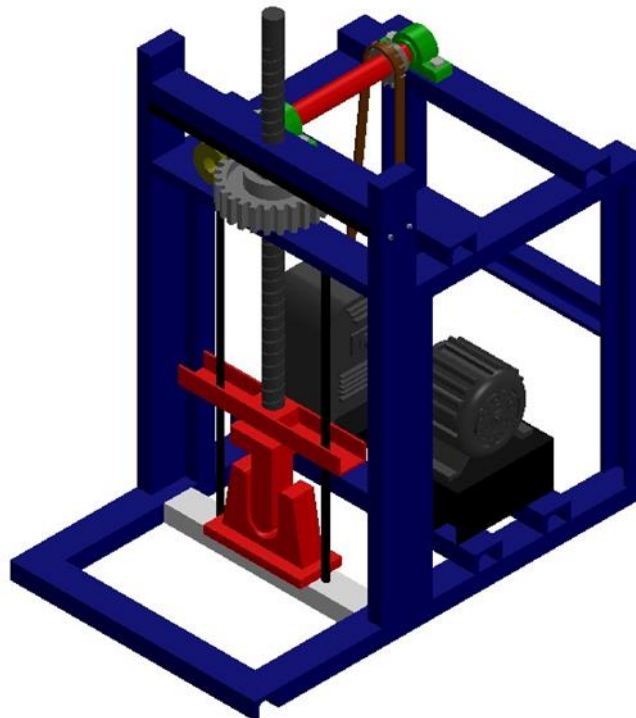
Berikut adalah gambar rangkaian *load cell* dan arduino :



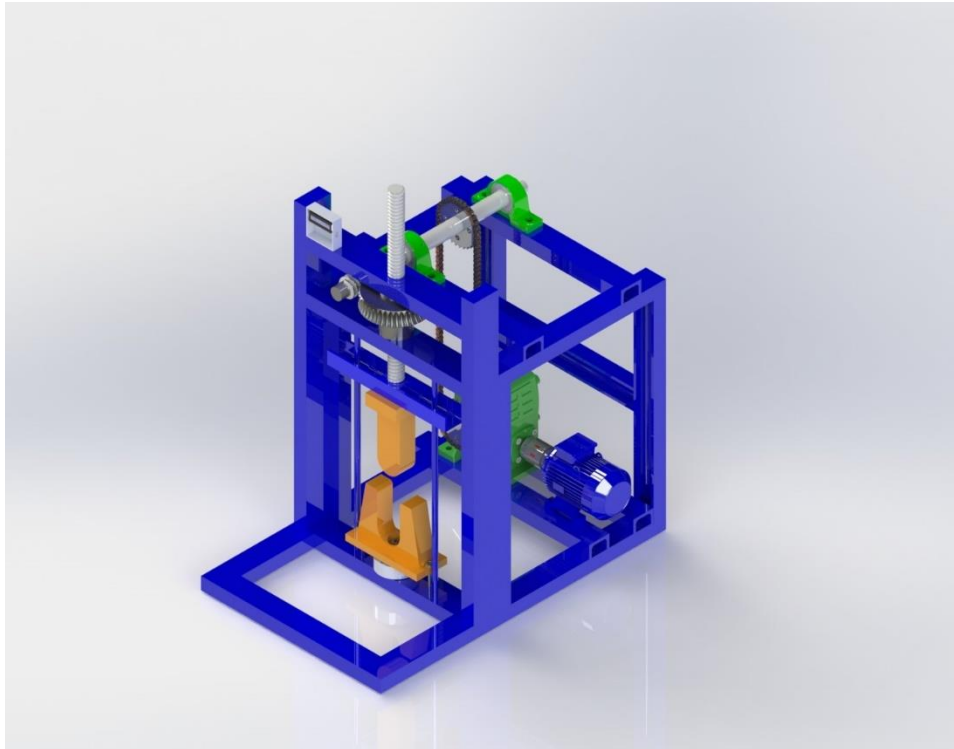
Gambar 12. Rangkaian *Load Cell*

3. Desain Mesin Uji Tekuk

Desain mesin uji tekuk sebelum pengembangan dan setelah pengembangan sebagai berikut :



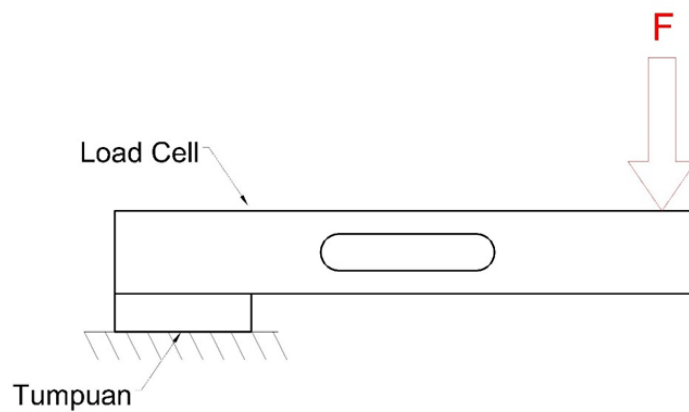
Gambar 14. Mesin Uji Tekuk Sebelum Pengembangan



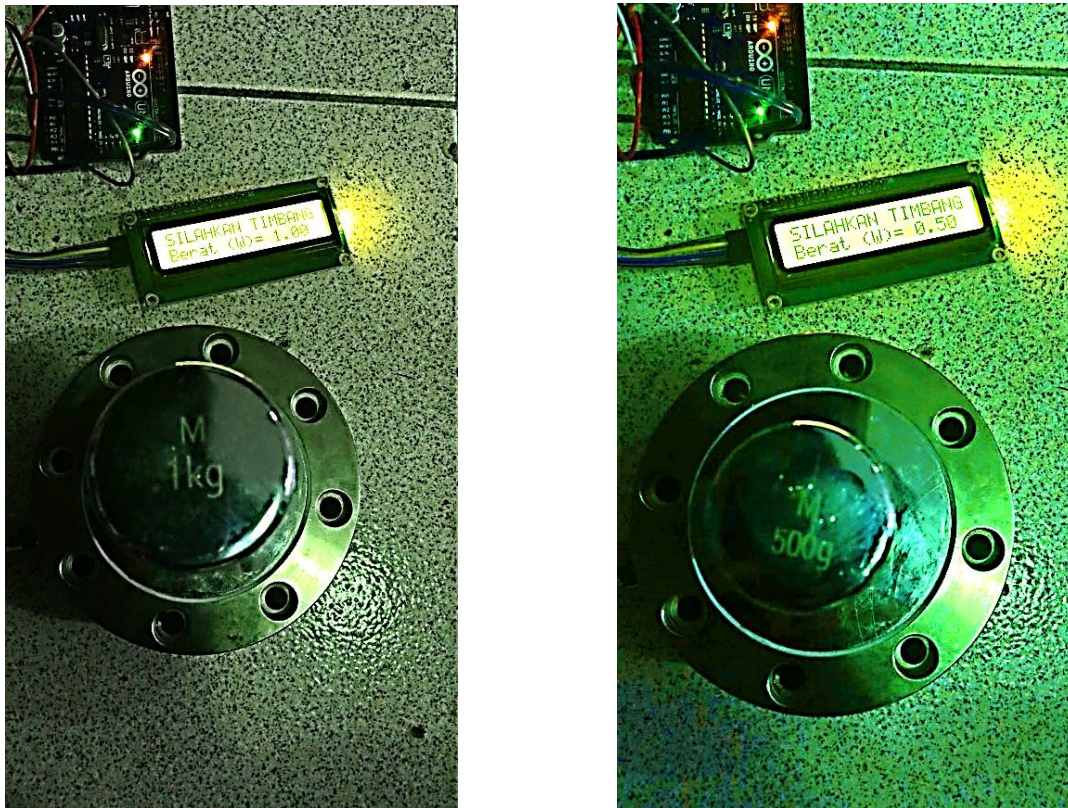
Gambar 15. Mesin Uji Tekuk Sesudah Pengembangan

4. Kalibrasi *Load cell*

Kalibrasi adalah proses pengecekan dan pengaturan akurasi dari alat ukur dengan cara membandingkannya dengan standar/tolak ukur. Kalibrasi diperlukan untuk memastikan bahwa hasil pengukuran yang dilakukan akurat dan konsisten dengan instrumen lainnya.



Gambar 16. Cara Kerja *Load cell*



Gambar 17. Kalibrasi Load cell

5. Hasil Pengujian

Berikut hasil data pengujian gaya tekuk:

Tabel 2. Data Pengujian Gaya Tekuk

Pengujian Gaya Tekuk			
No	Spesimen	σ_y (MPa)	Gaya Tekuk Maksimum (Kgf)
1	Baja ST-37	370	1361
2	Baja ST-34	330	1230
3	Baja ST-31	230	871



Gambar 18. Plat Baja ST-37



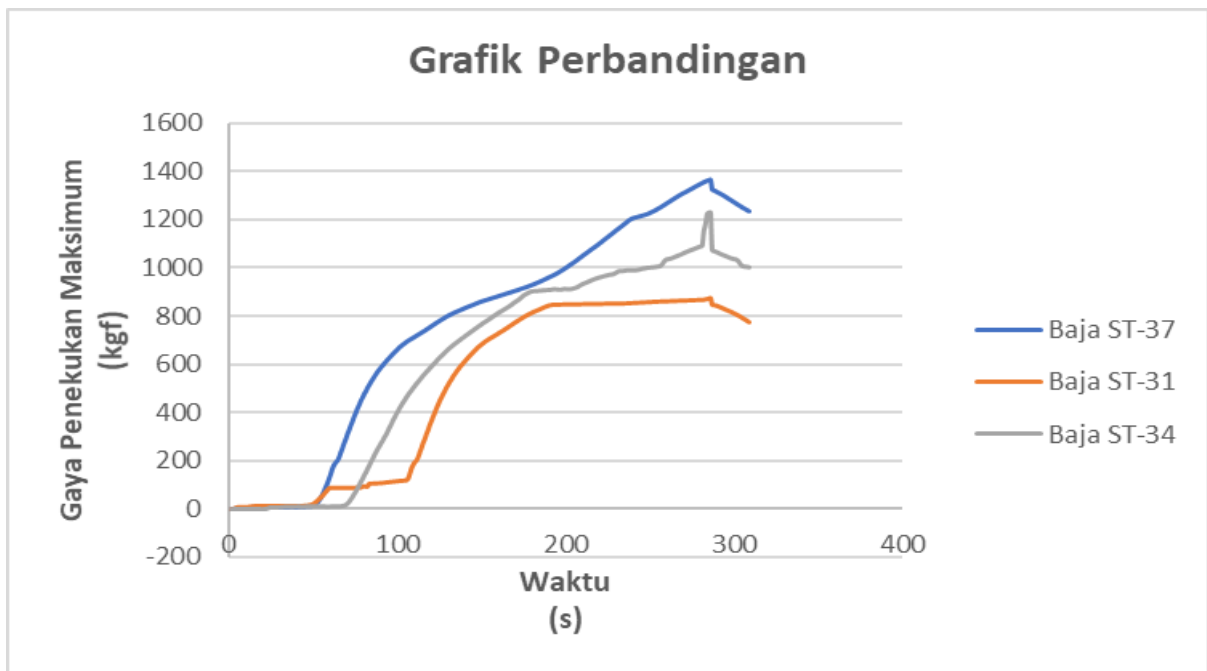
Gambar 19. Plat Baja ST-34



Gambar 20. Plat Baja ST-31

5. Analisis

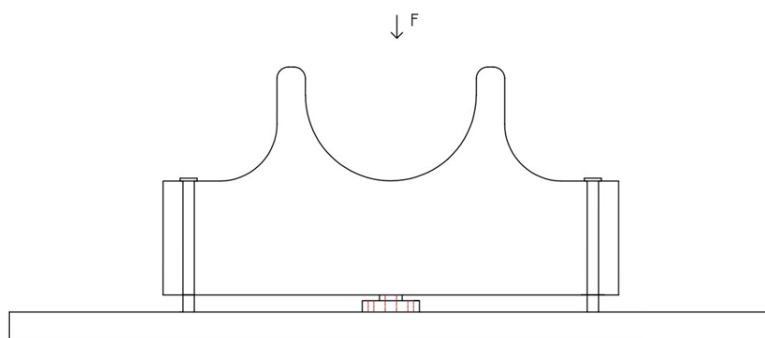
- Grafik Perbandingan Gaya Penekukan vs Waktu



Gambar 21. Gaya Penekukan Maksimum dengan Waktu

Setelah dilakukan pengujian tekuk, bahwa tegangan luluh maksimal yang dimiliki oleh tiap-tiap benda kerja yang di uji sangat mempengaruhi hasil gaya tekuk.

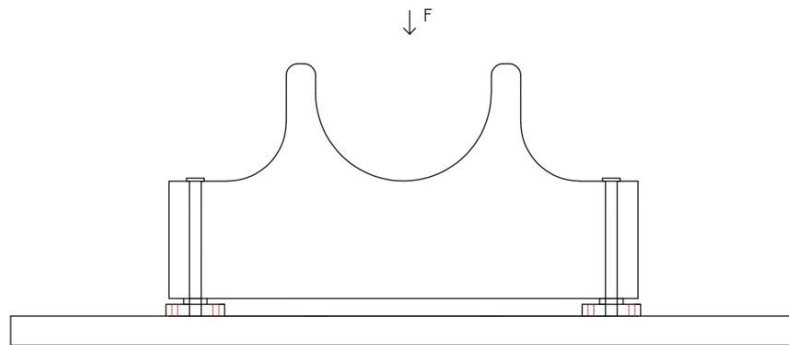
- Penempatan *Load cell* 1 buah di bawah



Gambar 22. Load cell 1 buah

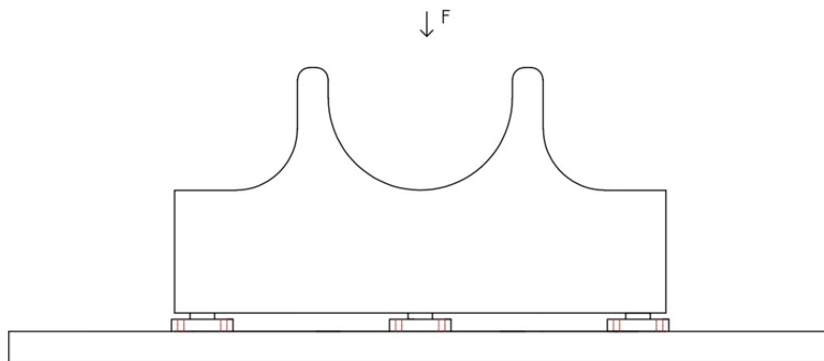
- Matras tidak stabil
- Agar matras stabil perlu dipasangkan 2 buah baut
- Pemasangan baut dapat mengganggu pengukuran gaya penekukan

- Penempatan *Load cell* 2 buah di bawah



Gambar 23. Load cell 2 buah

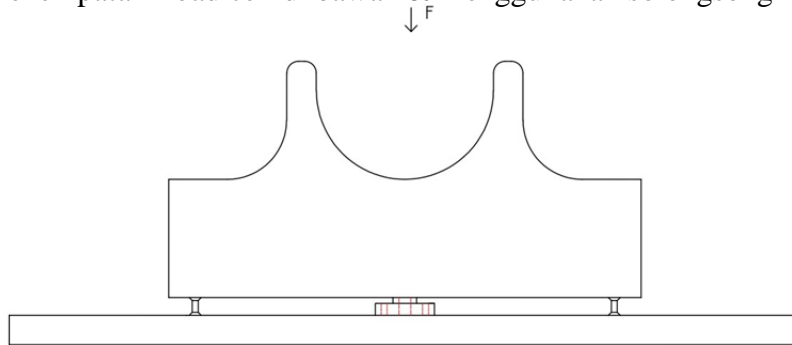
- Matras dapat stabil apabila matras di baut ke *load cell*
 - Pemasangan baut dapat mengganggu pengukuran gaya penekukan
- Penempatan *Load cell* 3 buah di bawah



Gambar 24. Load cell 3 buah

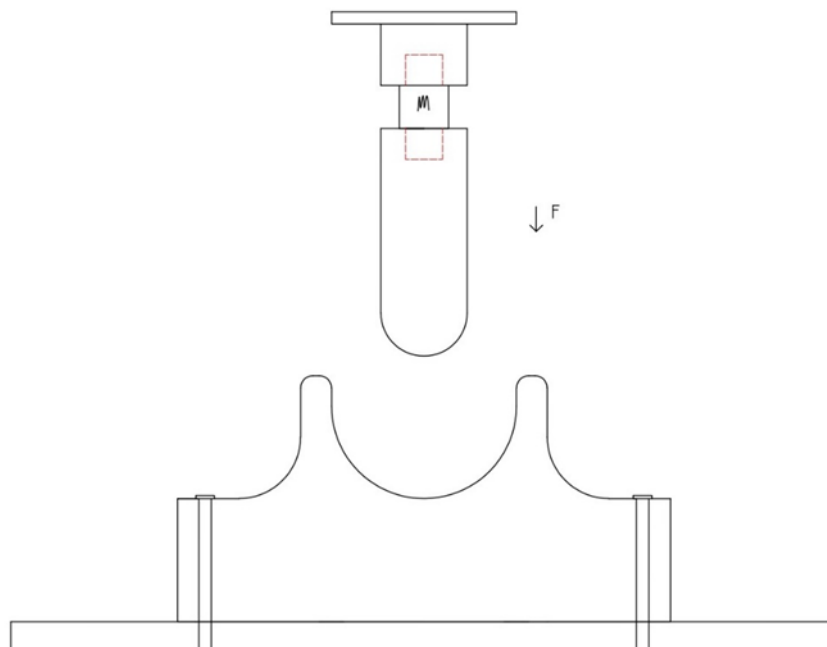
- Matras stabil
- Penempatan *load cell* tidak memungkinkan karena keterbatasan rangka mesin uji tekuk
- Biaya pengeluaran tinggi

- Penempatan Load cell di bawah & menggunakan solongsong



Gambar 25. Load cell di bawah & solongsong

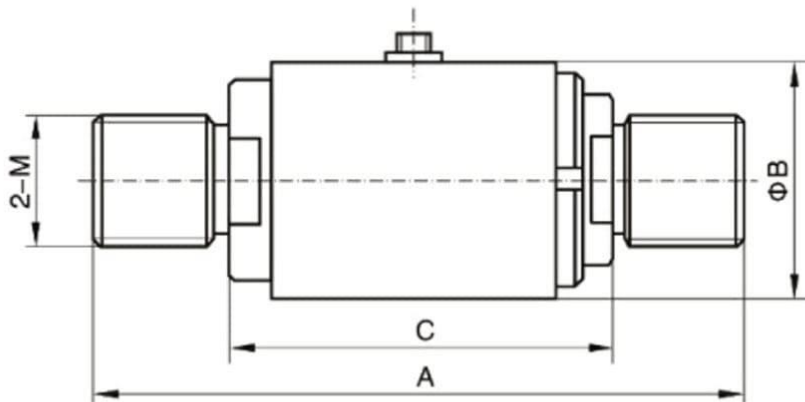
- Matras stabil
 - Pemasangan solongsong ke matras masih terdapat gesekan sehingga hasil pengukuran gaya penekukan terganggu
- Penempatan *Load cell* di atas



Gambar 26. Load cell Strain Gauge

Load cell dimension:

Capacity	Dimension (mm)			
	A	ΦB	C	M
10~20 ton	214	82~86	124	M42*4.5
30~50 ton	276	106	157	M56*5.5
70~100 ton	380	142	180	M76*4
150~200 ton	500	175	220	M130*6



Gambar 27. Ukuran *Load cell Strain Gauge*

- Matras di baut ke rangka mesin uji tekuk sehingga matras tidak dapat bergerak (stabil)
- Menggunakan Load cell Strain Gauge yang dipasangkan ke penekan (Ram)
- Hasil pengukuran gaya penekukan akurat

6. Standar ASTM E290

Mesin Tekuk Menurut standar ASTM E290 tentang pengujian tekuk bahwa ada 3 metode panduan penekukan yaitu tekuk “U”, tekuk “V” dan tekuk “V untuk plat canai dingin”. Untuk lebar spesimen standar pedoman yang digunakan minimal 38 mm (1½ in.).

Mesin Uji Tekuk yang terdapat di Laboratorium Teknik Produksi hanya dapat menekuk spesimen hingga berbentuk “U” dan lebar maksimum spesimen 40 mm, maka mesin uji tekuk yang terdapat di Laboratorium Teknik Produksi masuk dalam standar ASTM E290.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Dalam penelitian ini telah berhasil dilakukan pengembangan mesin uji tekuk yang ada di laboratorium Teknik Produksi sehingga dapat mengukur besarnya gaya penekanan. Gaya penekanan diukur menggunakan *load cell* jenis *spoke* yang diletakkan di bawah matras. Pemasangan baut untuk mencegah bergesernya matras perlu dipertimbangkan mengingat hasil yang diperoleh tidak mencerminkan gaya sesungguhnya. Berdasarkan analisis pengukuran gaya yang telah dilakukan, diperoleh bahwa jenis *load cell* yang sesuai adalah *compression load cell* yang di pasang pada ram. Dengan cara ini matras dapat di baut ke rangka mesin uji tekuk sehingga matras tidak dapat bergerak.

2. Saran

Saran yang dibutuhkan untuk pengembangan mesin uji tekuk ini yaitu:

- Mencoba jenis benda kerja selain baja karbon rendah
- Menambahkan alat ukur untuk mengetahui sudut derajat hasil benda kerja yang ditekuk.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Supriyono, "Mekanika Fluida Lanjut," 2021.
- [2] W. Kwintarini, A. Wibowo, B. M. Arthaya, and Y. Y. Martawirya, "Modeling of Geometric Error in Linear Guide Way to Improved the vertical three-axis CNC Milling machine's accuracy," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 319, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/319/1/012015.
- [3] T. Supriyono, "Mekanika fluida dasar (2019," *1st ed. Bandung: Universitas Pasundan, 2022*, no. Accessed: 22 Mei 2022, 2019, [Online]. Available: <http://repository.unpas.ac.id/56946/>
- [4] T. A. Wibowo, W. P. Raharjo, and B. Kusharjanta, "Perancangan Dan Analisis Kekuatan Konstruksi Mesin Tekuk Plat Hidrolik," *Mekanika*, vol. 12, no. 2, pp. 63–70, 2014.
- [5] W. Marsis and I. Toro, "Perancangan Mesin Bending Dengan Memanfaatkan Sitem Dongkrak Hidrolik Sederhana," *Jurnal Mesin Teknologi*, pp. 42–51, 2007.
- [6] R. Rusnandi, A. Intang, A. Angkasa, and R. B. Santosa, "Perancangan Mesin Bending Untuk Pipa Berdiameter Satu Inch Menggunakan Metode Roll Bending," *TEKNIKA: Jurnal Teknik*, vol. 7, no. 1, p. 49, 2020, doi: 10.35449/teknika.v7i1.127.
- [7] T. Oerbandono, A. A. Gunawan, and E. Sulistyono, "Karakteristik Kekuatan Bending dan Impact akibat Variasi Unidirectional Pre-Loading pada serat penguat komposit Polyester," *Karakteristik Kekuatan Bending dan Impact akibat Variasi Unidirectional Pre-Loading pada serat penguat komposit Polyester*, no. Snttm Xiv, pp. 7–8, 2015.
- [8] A. A. N. Syamsudin, "Perancangan Struktur Mekanik Mesin Uji Tarik Dengan Kapasitas 150 Kgf," 2021.
- [9] Maimun and I. Yusuf, "Pembuatan mesin bending pipa," *Pembuatan Mesin Bending Pipa*, vol. 2, no. 1, pp. 1–5, 2018.
- [10] P. Vokasi, U. N. Surabaya, J. T. Mesin, F. Teknik, and U. N. Surabaya, "Rancang Bangun Alat Uji Bending Hidrolik Dimas Putra Al Diansyah Tri Hartutuk Ningsih Abstrak Abstract," vol. 07, pp. 10–17, 2022.
- [11] K. Clear, N. F. Sebagai, and P. Las, "Analisa Kekuatan Tarik Dan Tekuk Pada Sambungan Pipa Baja Dengan Menggunakan Kanpe Clear Suralis 1208 Uwe Sebagai Pengganti Las," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 6, no. 1, pp. 716–725, 2018.
- [12] R. K. Arief, "Perancangan Alat Uji Tekuk Sederhana," *Jurnal Penelitian dan Kajian Ilmiah*, vol. XI, no. 74, pp. 20–25, 2017.
- [13] C. W. Utomo, "Pengaruh Posisi Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Dan Tekuk Pada Sambungan Las Baja ST 41," pp. 1–4, 2000.
- [14] S. A. Rahmawaty, "Analisa Kekuatan Tarik dan Tekuk pada Komposit Fiberglas-Polyester Berpenguat Serat Gelas dengan Variasi Fraksi Volume Serat," *JTM-ITI (Jurnal Teknik Mesin ITI)*, vol. 5, no. 3, p. 146, 2021, doi: 10.31543/jtm.v5i3.685.

- [15] I. P. Mulyatno and S. Jokosisworo, "Analisa Teknis Penggunaan Serat Rotan Sebagai Penguat Pada Komposit Polimer dengan Matriks Polyester Yukalac 157 Ditinjau Dari Kekuatan Tarik dan Kekuatan Tekuk," *Jurnal Kapal*, vol. 5, no. 3, pp. 173–180, 2008.
- [16] M. bin Afan, P. Purwantono, M. Mulianti, and B. Rahim, "Pengaruh Suhu Penyimpanan Elektroda Low Hydrogen E7016 terhadap Hasil Uji Tekuk Sambungan Las Pelat Baja Karbon SS400," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 15, no. 1, p. 20, 2020, doi: 10.32497/jrm.v15i1.1823.
- [17] F. Rosa, Saparin, and E. S. Wijianti, *Machine Jurnal Teknik Mesin*.
- [18] K. Boimau, J. U. T. Jasron, R. N. Selan, and D. Fiah, "Bending Komposit Poliester Berpenguat Serat Agave Cantula," *Jurnal Mesin Nusantara*, vol. 3, no. 2, pp. 72–81, 2020.
- [19] S. Hadi, R. N. A. Takwin, and A. Dani, "Uji Kekuatan Tekan Dan Kekuatan Lentur Pipa Air Pvc," *Jurnal Logic*, vol. Volume 16, no. Nomor 1, pp. 7–13, 2016.
- [20] C. Johan and F. R. Bethony, "Analisis Kekuatan Bending dan Tarik Pada Pengelasan Oxy-Acetylene Menggunakan Garam Kuning," *Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy*, vol. 5, no. 1, pp. 48–56, 2021, doi: 10.31289/jmemme.v5i1.4796.
- [21] D. Widiyanto, Suriansyah, and A. Suyatno, "Analisis Perlakuan Panas Besi Tuang Kelabu Terhadap Pengujian Tekuk," vol. 22, no. 2, pp. 72–76, 2014.
- [22] S. D. Tavel, H. Yudo, and Kiryanto, "Analisa Kekuatan Tarik dan Tekuk pada Sambungan Pipa Baja dengan Menggunakan Kanpe Clear Surealis 1208 Uwe Sebagai Pengganti Las," *Teknik Perkapalan*, vol. 6, no. 2, pp. 277–286, 2018.
- [23] A. Tama, A. W. B. Santosa, and U. Budiarto, "Analisa Kekuatan Tekuk, Kekuatan Puntir, dan Kekerasan Baja S45C dengan Variasi Temperatur Quenching," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 5, no. 4, p. 785, 2017, [Online]. Available: <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [24] N. A. Shalihan and D. Y. Pratomo, "Analisa Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Sambungan Las Dengan Menggunakan Uji Tarik Dan Uji Lengkung Pada Engine Stand Suzuki," *Jmio*, vol. 1, no. 1, pp. 13–17, 2019.
- [25] A. Wiharadikusumah, "Analisis Proses Pembuatan Leading Edge Pada Pesawat Komersial Dengan Menggunakan Pam-Stamp 2G," Universitas Pasundan, 2012. [Online]. Available: <http://repository.unpas.ac.id/28834/>
- [26] A. Pandu. W, "Perancangan Mesin Bending Test," Universitas Pasundan, 2012. [Online]. Available: <http://repository.unpas.ac.id/28691/>
- [27] R. I. F. Hariz, "Pengendalian Sistem Pembengkok Material Pada Simulator Mesin Pembengkok Batang Silinder," Universitas Pasundan, 2016. [Online]. Available: <http://repository.unpas.ac.id/11504/>

- [28] G. Wicaksana, "Analisis Distribusi Tegangan Pada Percabangan Pipa 900 Akibat Beban Lentur," Universitas Pasundan, 2022. [Online]. Available: <http://repository.unpas.ac.id/57050/>
- [29] A. M. Tulloh, "Uji Performansi Model Turbin Angin Tipe Poros Silang Kapasitas Daya 10 W Lembar Pengesahan Uji Performansi Model Turbin Angin Tipe Poros Silang Kapasitas Daya 10 W," 2021.
- [30] M. Riardy, "Karakterisasi Material Axle Shaft Dump Truck Hino Dutro 7 , 5 Ton," *Program Studi Teknik Mesin*, pp. 2–14, 2019.
- [31] Hadiansyah, "Karakteristik Material Dan Proses Perlakuan Panas Pada Komponen Liner Untuk Pabrik Semen," Universitas Pasundan, 2016. [Online]. Available: <http://repository.unpas.ac.id/26755/>
- [32] F. Nugraha, "Desain Gate 3 Untuk Ramp Gate Door Kapasitas 30 Ton," Universitas Pasundan, 2016. [Online]. Available: <http://repository.unpas.ac.id/15534/>

LAMPIRAN

1. Data hasil pengujian/pengukuran

Berikut data hasil pengujian atau pengukuran:

Tabel 3. Data hasil pengujian

No	Baja ST-37	Baja ST-31	Baja ST-34
1	0	0	0
2	0,23	0,89	0,05
3	1,89	4,01	0,05
4	4,17	6,61	0,09
5	5,95	8,58	0,15
6	6,22	8,62	0,19
7	6,24	8,72	0,13
8	6,46	8,76	0,07
9	6,58	9,04	0,11
10	6,68	9,23	0,15
11	6,84	9,6	0,23
12	7,38	10,29	0,2
13	8,07	11,47	0,14
14	8,82	12,58	0,13
15	9,06	13,24	0,16
16	9,13	13,39	0,11
17	9,04	13,31	0,11
18	9,03	13,33	0,06
19	8,92	13,43	0,03
20	8,86	13,47	-0,03
21	8,81	13,45	0,01
22	8,83	13,52	1,97
23	8,94	13,56	4,22
24	9,04	13,64	6,72
25	9,06	13,61	7,18
26	9,08	13,54	7
27	8,99	13,65	7,03
28	9,03	13,54	7,19
29	8,94	13,59	7,43
30	9,1	13,5	7,76
31	9,04	13,56	8,28
32	9,02	13,52	9,23
33	8,92	13,46	9,96
34	8,94	13,47	10,39
35	9,03	13,42	10,48
36	9,16	13,46	10,38
37	9,13	13,41	10,45
38	9,13	13,35	10,38

39	9,03	13,45	10,47
40	9,13	13,46	10,48
41	9,11	13,46	10,44
42	9,15	13,41	10,41
43	9,43	13,83	10,39
44	9,96	14,39	10,5
45	10,78	15,07	10,63
46	11,12	15,63	10,59
47	11,28	16,6	10,6
48	11,48	17,77	10,57
49	12,19	19,97	10,57
50	14,09	22,94	10,67
51	19,04	28,54	10,61
52	25,47	33,88	10,57
53	35,45	41,2	10,53
54	45,23	47,1	10,54
55	58,88	54,9	10,64
56	72,23	61,76	10,58
57	89,83	70,2	10,51
58	105,6	77,78	10,4
59	125,18	86,26	10,41
60	143,32	87,3	10,46
61	166,83	87,4	10,59
62	182,63	87,5	10,81
63	193,4	87,6	11,13
64	200,1	87,7	11,39
65	213,52	87,8	11,8
66	234,41	87,9	12,27
67	251,97	88	13,15
68	272,58	88,1	14,32
69	289,53	88,2	16,65
70	310,19	88,3	22,48
71	327,45	88,4	29,95
72	347,55	88,5	40,54
73	364,3	88,6	49,97
74	383,16	88,7	61,88
75	399,31	88,8	72,73
76	417,54	88,9	86,59
77	432,32	89	98,49
78	449,2	89,1	113,05
79	462,22	93,5	124,98
80	477,6	93,6	139,87
81	489,46	93,7	152,2
82	503,48	93,8	167,43
83	514,71	105,4	180,04
84	527,35	105,5	195,31

85	537,97	105,54	208,32
86	549,63	106,53	223,63
87	559,35	106,75	235,91
88	570,12	107,11	249,64
89	578,65	107,64	260,59
90	588,32	108,34	273,64
91	595,76	108,85	284,2
92	604,67	109,3	297,41
93	611,91	110,78	308,58
94	620,52	111,19	323,01
95	627,73	112,17	338,15
96	635,85	112,87	350,88
97	642,6	113,76	366,6
98	650,17	114,41	379,03
99	656,41	115,26	393,62
100	663,89	116,06	405,16
101	670,94	116,56	418,49
102	676,42	117,24	429,34
103	682,36	117,97	441,42
104	687,07	118,71	451,55
105	692,83	119,49	463,11
106	697,19	125,18	472,37
107	702,28	143,32	483,05
108	706,04	166,83	491,34
109	710,35	182,63	501,55
110	713,97	193,4	509,77
111	718,53	200,1	519,49
112	722,68	213,52	527,45
113	727,36	234,41	536,74
114	731,2	251,97	544,65
115	735,79	272,58	553,51
116	739,7	289,53	560,69
117	744,7	310,19	569,06
118	748,75	327,45	575,97
119	754,02	347,55	584,48
120	758,24	364,3	591,32
121	763,48	383,16	599,52
122	767,72	399,31	606,19
123	772,67	417,54	614,25
124	776,89	432,32	622,28
125	781,54	449,2	628,62
126	785,49	462,22	636,08
127	789,98	477,6	642,23
128	793,79	489,46	649,72
129	798,41	503,48	656,03
130	801,85	514,71	663,07

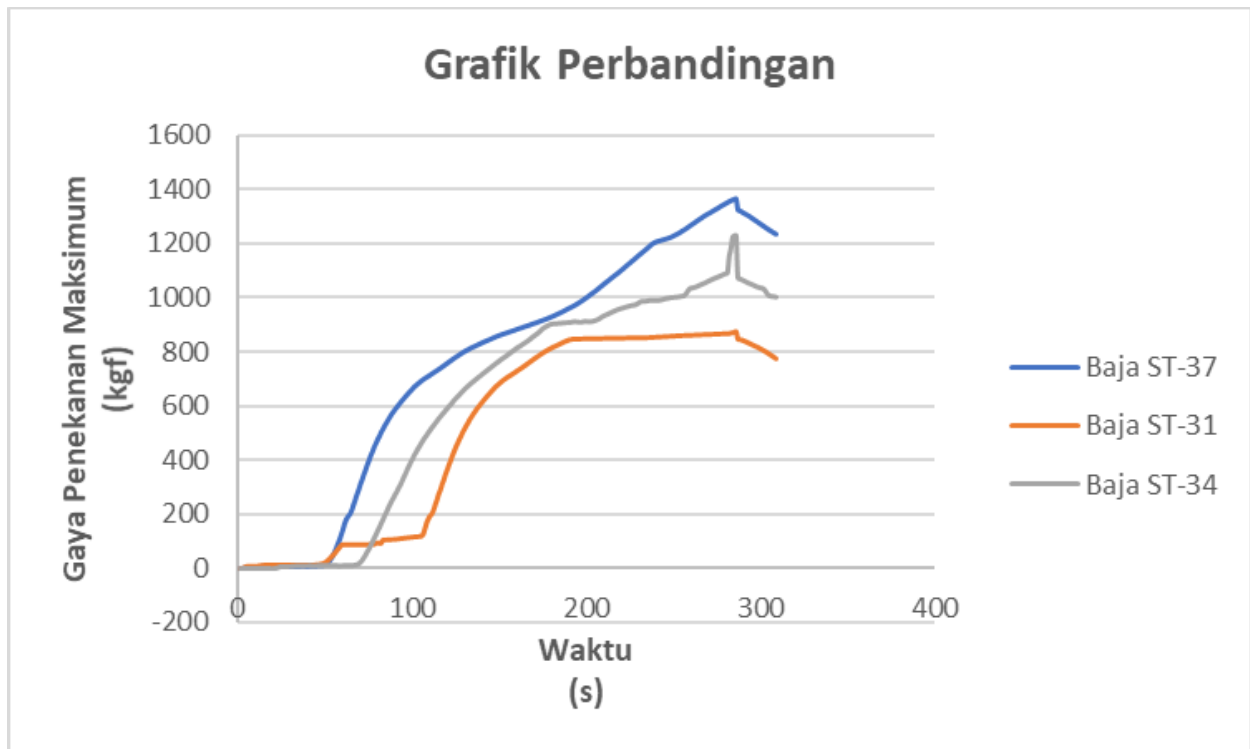
131	805,96	527,35	668,81
132	808,93	537,97	675,08
133	812,57	549,63	680,27
134	816	559,35	686,22
135	818,61	570,12	691
136	821,87	578,65	696,8
137	824,32	588,32	701,4
138	827,89	595,76	707,15
139	830,71	604,67	712,01
140	834,13	611,91	717,69
141	836,82	620,52	722,44
142	839,62	627,73	727,74
143	842,17	635,85	732,53
144	845,06	642,6	737,94
145	847,66	650,17	742,54
146	850,95	656,41	748,03
147	853,41	663,89	752,59
148	856,64	670,94	758,29
149	858,8	676,42	762,7
150	861,53	682,36	768,06
151	863,43	687,07	772,91
152	865,83	692,83	776,99
153	867,82	697,19	781,87
154	870,21	702,28	785,99
155	872,26	706,04	791,29
156	874,62	710,35	795,68
157	876,51	713,97	800,82
158	879,02	718,53	805,22
159	880,93	722,68	810,27
160	883,37	727,36	814,56
161	885,31	731,2	819,05
162	887,72	735,79	822,83
163	889,84	739,7	827,38
164	892,3	744,7	831,1
165	894,42	748,75	835,86
166	896,82	754,02	839,76
167	898,64	758,24	845,05
168	900,99	763,48	849,33
169	903,27	767,72	855,26
170	905,39	772,67	859,51
171	907,84	776,89	864,77
172	909,96	781,54	868,81
173	912,64	785,49	875,41
174	914,86	789,98	880,86
175	917,38	793,79	887,09
176	919,51	798,41	890,89

177	922,01	801,85	895,43
178	924,47	805,96	898,51
179	927,19	808,93	901,31
180	929,91	812,57	903,22
181	932,95	816	904,02
182	935,69	818,61	904,61
183	938,85	821,87	904,97
184	941,61	824,32	905,95
185	944,98	827,89	906,17
186	947,87	830,71	907,23
187	951,52	834,13	907,63
188	954,58	836,82	908,33
189	958,29	839,62	908,83
190	961,38	842,17	908,84
191	964,79	843,06	909,79
192	967,92	844,88	911
193	971,47	845	912,05
194	974,94	845,12	911,89
195	979,05	845,24	910,87
196	982,79	845,36	909,89
197	987,46	845,48	910,16
198	991,39	845,6	911,77
199	996,52	845,72	913,01
200	1000,45	845,84	913,01
201	1005,4	845,96	912,11
202	1010,34	846,08	912,16
203	1014,64	846,2	912,78
204	1020,03	846,32	914,47
205	1024,28	846,44	916,32
206	1029,79	846,56	918,55
207	1034,45	846,68	921,43
208	1040,36	846,8	925,89
209	1045,22	846,92	930,57
210	1050,78	847,04	933,64
211	1055,49	847,16	936,74
212	1061	847,28	939,04
213	1065,79	847,4	942,47
214	1071,39	847,52	945,24
215	1075,89	847,64	948,64
216	1081,34	847,76	951,4
217	1085,95	847,88	954,4
218	1091,46	848	956,81
219	1096,12	848,12	958,95
220	1101,66	848,24	960,96
221	1106,56	848,36	962,88
222	1112,65	848,48	964,65

223	1117,65	848,6	967,01
224	1123,71	848,72	968,72
225	1128,62	848,84	970,89
226	1134,6	848,96	972,03
227	1139,57	849,08	973,13
228	1145,59	849,2	974,01
229	1150,76	849,32	977,45
230	1156,66	849,44	981,34
231	1161,51	849,56	985,85
232	1167,23	849,68	987,38
233	1171,99	849,8	986,86
234	1177,99	849,92	987,6
235	1183,09	850,04	988,76
236	1189,17	850,44	990
237	1195	850,84	990,68
238	1199,42	851,24	989,65
239	1203,74	851,64	989,69
240	1206,26	852,04	989,47
241	1208,6	852,44	990,37
242	1210,3	852,84	991,18
243	1212,22	853,24	992,78
244	1213,85	853,64	994,36
245	1215,83	854,04	995,99
246	1217,75	854,44	997,5
247	1220,01	854,84	998,8
248	1222,22	855,24	1000,26
249	1225,17	855,64	1001,4
250	1227,97	856,04	1002,06
251	1231,51	856,44	1002,86
252	1234,7	856,84	1003,18
253	1238,66	857,12	1004,28
254	1242,18	857,4	1005,27
255	1246,54	857,68	1006,21
256	1250,21	857,96	1007,77
257	1254,77	858,24	1013,39
258	1258,75	858,52	1023,81
259	1263,62	858,8	1031,66
260	1267,72	859,08	1036,31
261	1272,58	859,36	1036,92
262	1276,61	859,64	1038,85
263	1281,45	859,92	1040,63
264	1285,43	860,2	1043,58
265	1290,28	860,48	1046,67
266	1294,3	860,76	1049,41
267	1299,01	861,04	1052,51
268	1302,8	861,32	1055,02

269	1306,85	861,6	1058,42
270	1310,72	861,88	1061,37
271	1313,8	862,16	1064,66
272	1317,84	862,44	1067,58
273	1321,32	862,72	1070,69
274	1325,62	863	1073,24
275	1329,18	863,28	1075,96
276	1333,43	863,56	1078,35
277	1336,98	863,84	1081,54
278	1341,04	864,12	1083,88
279	1344,46	864,4	1087,1
280	1348,29	864,68	1089,5
281	1351,6	864,96	1092,61
282	1355,34	865,24	1151,38
283	1358,39	866,8	1182,3
284	1361,53	868,36	1225,21
285	1363,62	869,92	1228,97
286	1364,88	871,48	1230,17
287	1325,62	844,88	1073,24
288	1321,32	843,06	1070,69
289	1317,84	842,17	1067,58
290	1313,8	839,62	1064,66
291	1310,72	836,82	1061,37
292	1306,85	834,13	1058,42
293	1302,8	830,71	1055,02
294	1299,01	827,89	1052,51
295	1294,3	824,32	1049,41
296	1290,28	821,87	1046,67
297	1285,43	818,61	1043,58
298	1281,45	816	1040,63
299	1276,61	812,57	1038,85
300	1272,58	808,93	1036,92
301	1267,72	805,96	1036,31
302	1263,62	801,85	1031,66
303	1258,75	798,41	1023,81
304	1254,77	793,79	1013,39
305	1250,21	789,98	1007,77
306	1246,54	785,49	1006,21
307	1242,18	781,54	1005,27
308	1238,66	776,89	1004,28
309	1234,7	772,67	1003,18

2. Hasil Pengolahan Data



Gambar 28. Grafik Pengujian Tekuk

3. Foto-Foto Kegiatan



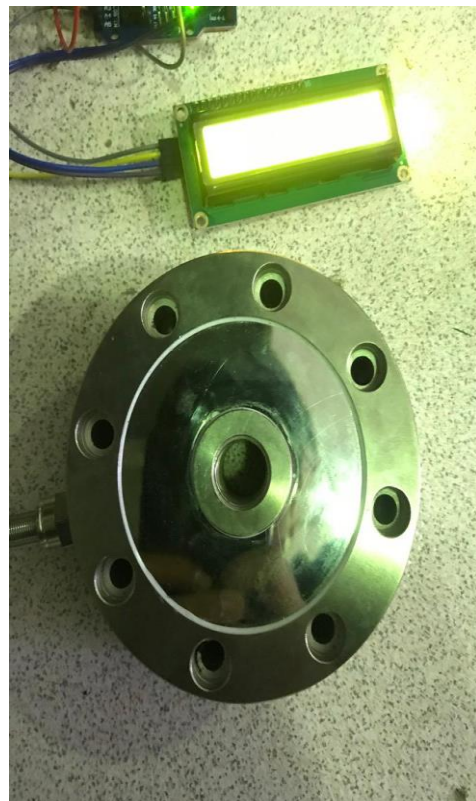
Gambar 29. Proses Pengeboran



Gambar 32. Proses Pengeboran 2

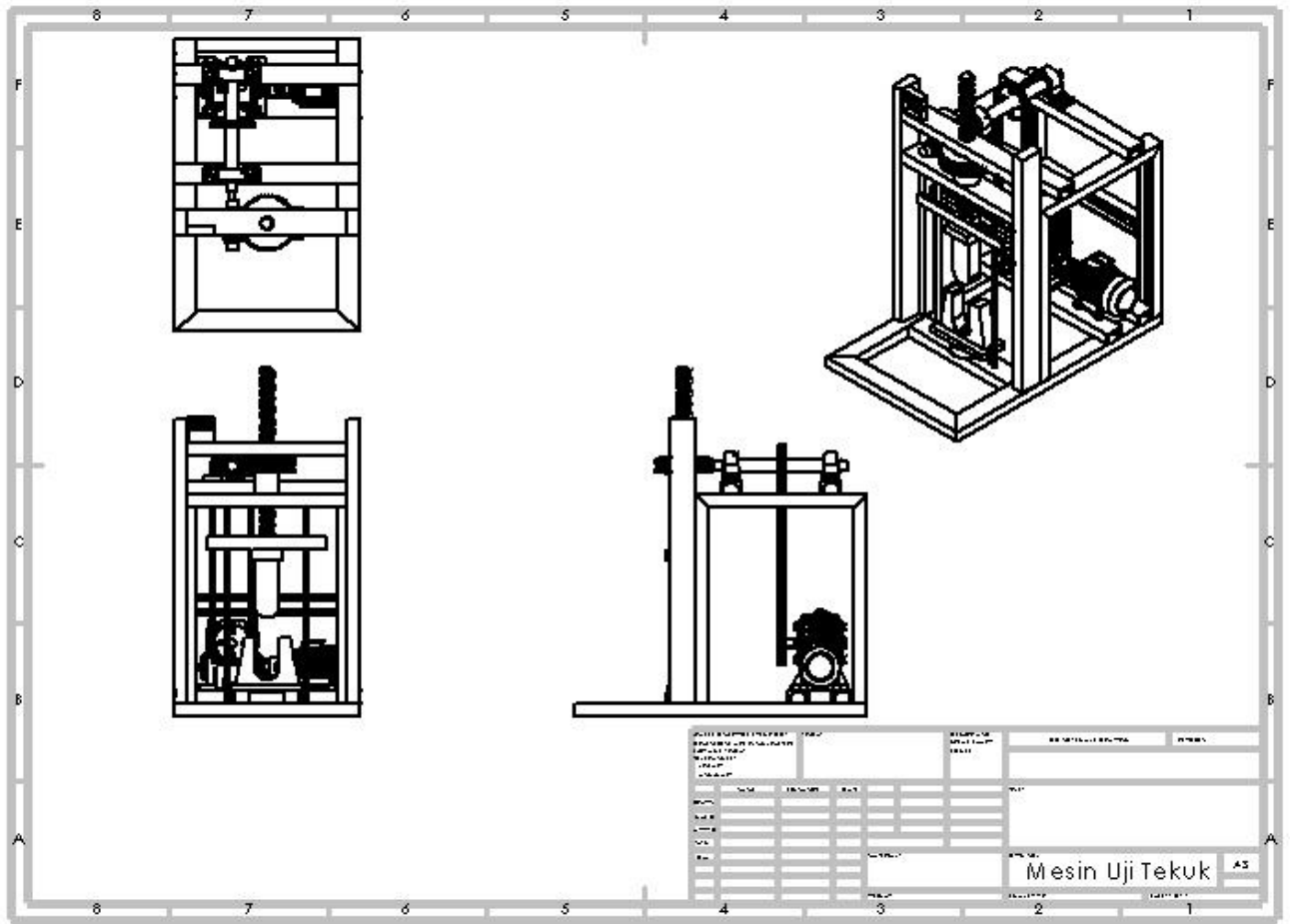


Gambar 30. Proses Penekukan



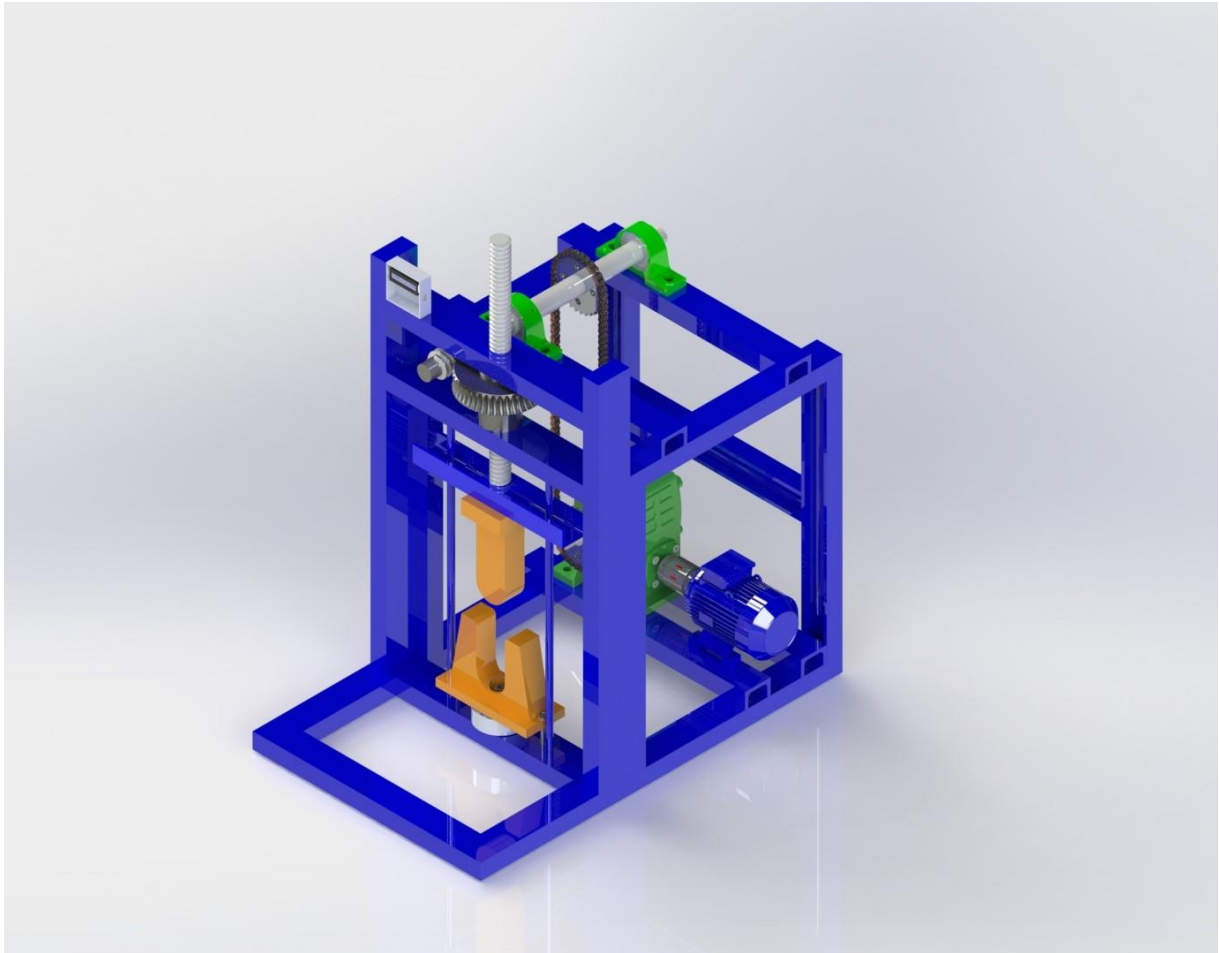
Gambar 31. Proses Kalibrasi

4. Gambar Teknik



Gambar 33. Gambar Teknik Mesin Uji Tekuk

5. Gambar Kerja



Gambar 34. Gambar Kerja Mesin Uji Tekuk

6. *Compression Load Cell*



Gambar 35. *Compression Load Cell*

Spesifikasi *Compression Load Cell*:

- Material : Baja paduan
- Size : 10 ton
- Merk : ATO
- Harga : Rp 4.300.000,00

7. Standard ASTM



Penunjukan: E290 – 14

Metode Uji Standar untuk Penguji Tekuk Bahan untuk Keuletan¹

Standar ini dikeluarkan di bawah penunjukan tetap E290; Angka segera setelah penunjukan menunjukkan tahun adopsi asli atau, dalam hal revisi, tahun revisi terakhir. Angka dalam tanda kurung menunjukkan tahun persetujuan ulang terakhir. Epsilon superskrip menunjukkan perubahan editorial sejak revisi terakhir atau persetujuan ulang.

Standar ini telah disetujui untuk digunakan oleh badan-badan AS. Departemen Pertahanan.

1. Ruang lingkup

1.1 Metode pengujian ini mencakup pengujian Tekukan untuk keuletan bahan. Termasuk dalam prosedur adalah empat kondisi kendala pada bagian spesimen yang bengkok; uji Tekukan terpandu menggunakan mandrel atau plunger dari dimensi yang ditentukan untuk memaksa panjang tengah spesimen antara dua penyangga yang dipisahkan oleh ruang yang ditentukan; tes Tekukan semi-terpandu di mana spesimen ditekuk, saat bersentuhan dengan mandrel, melalui sudut yang ditentukan atau ke jari-jari dalam yang ditentukan (r) kelengkungan, diukur saat berada di bawah gaya Tekuk; tes Tekukan bebas di mana ujung-ujung spesimen dibawa ke arah satu sama lain, tetapi di mana tidak ada gaya melintang yang diterapkan pada Tekukan itu sendiri dan tidak ada kontak cekung di dalam permukaan Tekukan dengan bahan lain; tes Tekukan dan pipihkan, di mana gaya melintang diterapkan pada Tekukan sedemikian rupa sehingga kaki melakukan kontak satu sama lain selama panjang spesimen.

1.2 Setelah ditekuk, permukaan cembung Tekukan diperiksa untuk bukti adanya retakan atau penyimpangan permukaan. Jika spesimen retak, bahan tersebut telah gagal dalam pengujian. Ketika fraktur lengkap tidak terjadi, kriteria kegagalan adalah jumlah dan ukuran retakan atau penyimpangan permukaan yang terlihat oleh mata tanpa bantuan yang terjadi pada permukaan cembung spesimen setelah ditekuk, sebagaimana ditentukan oleh standar produk. Setiap retakan dalam satu ketebalan tepi spesimen tidak dianggap sebagai kegagalan uji Tekukan. Retakan yang terjadi di sudut-sudut bagian yang bengkok tidak boleh dianggap signifikan kecuali jika melebihi ukuran yang ditentukan untuk retakan sudut dalam standar produk.

1.3 Nilai-nilai yang dinyatakan dalam satuan SI harus dianggap sebagai standar. Nilai inci-pound yang diberikan dalam tanda kurung digunakan dalam menetapkan parameter uji dan hanya untuk informasi.

1.4 *Standar ini tidak dimaksudkan untuk mengatasi semua masalah keamanan, jika ada, terkait dengan penggunaannya. Merupakan tanggung jawab pengguna standar ini untuk menetapkan pendekatan menerapkan praktik keselamatan dan kesehatan serta menentukan penerapan batasan peraturan sebelum digunakan.*

¹ Metode pengujian ini berada di bawah yurisdiksi Komite ASTM E28 tentang Pengujian Mekanis dan merupakan tanggung jawab langsung Subkomite E28.02 tentang Keuletan dan Formabilitas. Edisi saat ini disetujui 1 Mei 2014. Diterbitkan September 2014. Awalnya disetujui pada tahun 1966. Edisi sebelumnya terakhir disetujui pada tahun 2013 sebagai E290 – 13. doi: 10.1520 /E0290-14..

2. Dokumen yang Dirujuk

1.5 Standar ASTM:²

E6 Terminologi yang Berkaitan dengan Metode Pengujian Mekanis

E8/E8M Metode Pengujian untuk Pengujian Tegangan Material Logam

E18 Metode Pengujian untuk Kekerasan Rockwell dari Material Metalik

E190 Metode Uji untuk Uji Tekuk Terpandu untuk Duktilitas Lasan

3. Ringkasan Metode Pengujian

1.6 Empat metode untuk pengujian daktilitas yang menggunakan pembengkokan termasuk dalam metode pengujian ini. Tiga metode memiliki subkelompok dengan prosedur khusus.

1.6.1 Tekukan Terpandu:

1.6.1.1 Tekukan Terpandu, No Die,

1.6.1.2 Tekukan Terpandu, U-Bend,

1.6.1.3 Tekukan Terpandu, V-Bend,

1.6.1.4 Tekukan Terpandu, V-Bend untuk lembaran canai dingin,

1.6.2 Tekukan Semi-terpandu:

1.6.2.1 *Aransemen A*, spesimen dipegang di satu ujung.

1.6.2.2 *Aransemen B*, untuk bahan tipis.

1.6.2.3 *Aransemen C*, gaya kontak mandrel di Tekukan.

1.6.3 Tekukan Bebas:

1.6.3.1 *Jenis 1*, 180° lipat.

1.6.3.2 *Jenis 2*, tekuk rata pada dirinya sendiri.

1.6.4 Tekuk dan Ratakan:

3.2 Uji tekuk terpandu untuk keuletan lasan dijelaskan dalam Metode E190 dan dapat digunakan untuk bahan canai datar bila ditentukan oleh standar produk. Fitur penting dari metode pembengkokan ini digunakan di 3.1.1.2, Guided Bend, U-Bend.

3.3 Tes Tekuk dibuat dalam salah satu dari dua arah relatif terhadap arah kerja utama yang digunakan dalam produksi processing material.

² Untuk standar ASTM yang dirujuk, kunjungi situs web ASTM, www.astm.org, atau hubungi Layanan Pelanggan ASTM di service@astm.org. Untuk informasi volume Buku Tahunan Standar ASTM, lihat halaman Ringkasan Dokumen standar di situs web ASTM.

* Bagian Ringkasan Perubahan muncul di akhir standar ini

3.3.1 Uji longitudinal menggunakan spesimen dengan dimensi panjangnya sejajar dengan arah pemrosesan sehingga Tekukan terbentuk melintasi arah pemrosesan, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**.

3.3.2 Uji melintang menggunakan spesimen dengan dimensi panjang tegak lurus terhadap arah pemrosesan sehingga Tekukan sejajar dengan arah pemrosesan, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**.

2. Sumbu Tekukan adalah pusat jari-jari Tekukan .

3.3.3 Produk lembaran tipis umumnya diproduksi dengan mengurangi ketebalan stok di rolling mill dan dari sini istilah arah bergulir digunakan untuk mengidentifikasi arah pemrosesan utama. Demikian pula, produk yang diproduksi dalam bentuk koil mungkin memiliki arah pemrosesan yang disebut sebagai arah melingkar.

3.4 Lokasi aplikasi gaya pada spesimen relatif terhadap Tekukan itu sendiri dan jumlah pembengkokan berbeda-tiate empat metode pembengkokan yang tercakup dalam metode pengujian ini. Dua prosedur uji Tekukan semi-terpandu memberikan permukaan radius di mana Tekukan terbentuk. Hasil yang diperoleh dengan prosedur pengujian yang berbeda mungkin tidak sama, terutama untuk bahan dengan kecenderungan retak atau patah.

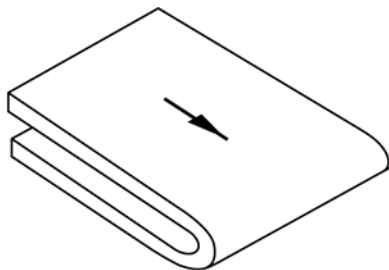
3.5 Tes selesai ketika sudut Tekukan yang ditentukan, atau kondisi tertentu lainnya, telah tercapai.

3.5.1 Jika jumlah retak yang ditentukan diizinkan oleh standar produk, permukaan cembung dari daerah Tekukan diperiksa untuk retakan dan penyimpangan permukaan.

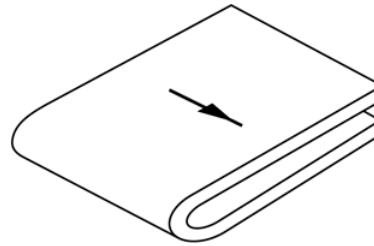
3.5.2 Penyimpangan permukaan, seperti kulit jeruk, hilangnya kepatuhan lapisan, atau ketidaksempurnaan yang diakibatkan oleh Tekukan, harus dicatat sebagaimana disyaratkan oleh spesifikasi produk.

3.6 *Tekukan Terpandu*—Uji guided-bend dilakukan dengan supporting spesimen di dekat setiap ujung pada pin, rol, atau permukaan datar dengan jari-jari ujung yang sesuai dan menerapkan gaya melalui pin, mandrel, plunger, atau die jantan di tengah jalan antara dua penyangga, seperti yang ditunjukkan secara skematis pada **Gambar 3**, **Gambar 4**, **Gambar 5**, dan **6** sampai Tekukan yang diinginkan terbentuk. Tidak ada gaya yang diterapkan langsung ke permukaan luar Tekukan ketika tidak ada kematian wanita yang digunakan (3.1.1.1). Beberapa gaya dapat diterapkan oleh betina mati ke wajah luar Tekukan dalam kasus U-bend (3.1.1.2) dan V-bends (3.1.1.3 dan 3.1.1.4). Dalam beberapa kasus, untuk U-bend dan V-bends mungkin perlu bagi spesimen untuk keluar pada die betina untuk memastikan jumlah pembengkokan yang benar.

3.6.1 Jari-jari plunger dan dua penyangga harus didefinisikan dalam spesifikasi produk yang terkait dengan ketebalan (t) spesimen yang diuji. Jarak bebas tiga ketebalan dengan toleransi satu setengah ketebalan harus disediakan antara pin, plunger, dan spesimen di fixture Tekukan awal .



Catatan 1—Panah menunjukkan arah pemrosesan.
Gambar. 1 Uji Tekuk Longitudinal



NOTE 1—Panah menunjukkan arah pemrosesan.
Gambar. 2 Uji Tekuk Melintang

3.6.1.1 Jarak antara penyangga (C) harus tiga ketebalan ditambah dua kali jari-jari plunger, dengan toleransi ketebalan satu-setengah, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar. 3**.

3.6.1.2 Ketika betina mati digunakan untuk U-bend dan V-bend, mereka harus sesuai kira-kira dengan geometri yang ditunjukkan pada **Gambar. 4**, **Gambar. 5**, dan **Gambar. 6**.

3.6.2 Permukaan penyangga dan plunger harus cukup keras untuk menahan deformasi dan keausan plastis yang dapat diamati setelah pengujian. Jika terlihat perataan, keausan, atau deformasi permanen lainnya dari perlengkapan uji memang terjadi, pengujian tidak valid.

Catatan 1—Dukungan dan pendorong yang dikeraskan hingga setidaknya 20 HRC telah ditemukan secara umum cocok untuk tes ini. Disarankan agar pemeriksaan oleh mata tanpa bantuan untuk perataan, keausan, atau deformasi lain dari perlengkapan uji dilakukan setelah menguji bahan yang berbeda dan berpotensi lebih keras dari biasanya.

3.6.3 Dukungan dapat diperbaiki atau bebas untuk diputar. Pelumas dapat diterapkan pada penyangga dan plunger .

3.6.4 Lebar perlengkapan Tekukan terpandu, termasuk penyangga dan plunger, harus sedemikian rupa sehingga daerah Tekukan spesimen tunduk pada gaya Tekuk melintasi lebarnya (w) selama pembengkokan.

3.6.5 Ketika ketebalan atau kekuatan spesimen, atau kapasitas perlengkapan uji Tekukan terpandu (ditunjukkan pada **Gambar 3**) tidak menghasilkan jumlah pembengkokan yang diperlukan, spesimen dapat dikeluarkan dari fixture dan Tekukan diselesaikan dengan menerapkan gaya terhadap ujung spesimen, seperti yang ditunjukkan secara skematis pada **Gambar 7** . Spacer dengan ketebalan sama dengan dua kali jari-jari Tekukan yang diperlukan dimasukkan di lokasi Tekukan. Tepi di ujungnya harus dibatasi sehingga spesimen tidak dapat keluar dari fixture di bawah gaya Tekuk.

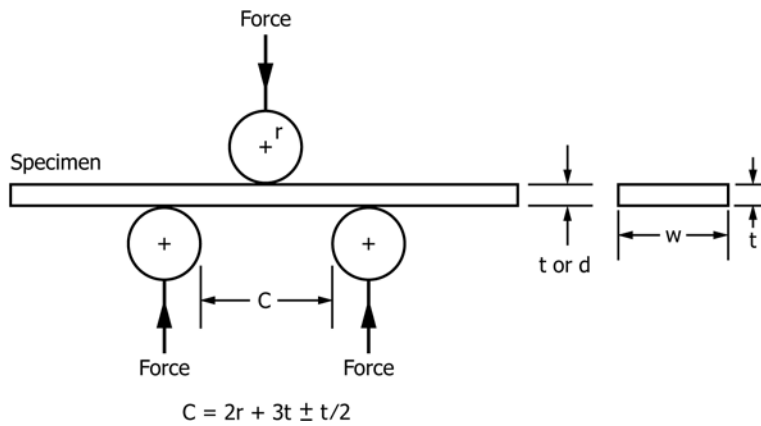
3.6.6 Retakan permukaan dan ketidaksempurnaan yang dihasilkan dari Tekukan harus dievaluasi dan dilaporkan.

3.7 *Tekukan Semi-terpandu*—Uji Tekukan semi-terpandu menggunakan gaya pembatas pada bagian dalam Tekukan selama inisiasi pembengkokan dan berlanjut hingga kondisi Tekukan akhir tercapai.

3.7.1 Uji Tekukan semi-terpandu dilakukan dengan menerapkan gaya melintang ke sumbu panjang spesimen di bagian yang sedang ditekuk.

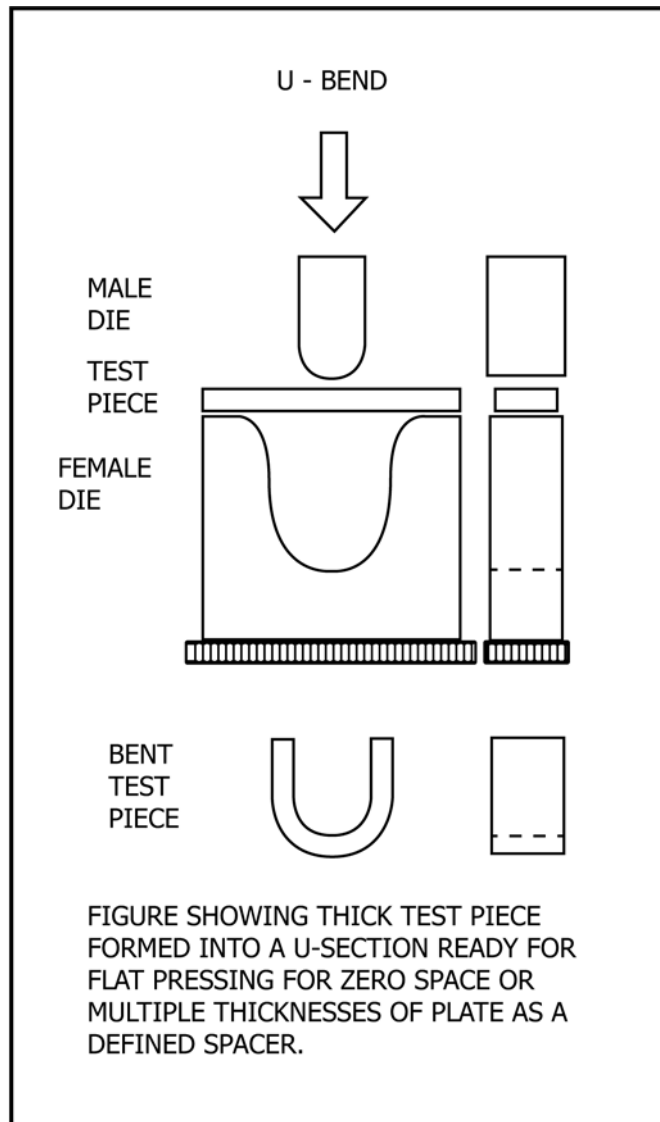
3.7.2 Sudut Tekukan dalam uji Tekukan semi-terpandu diukur sementara spesimen ditahan diam di bawah gaya yang membentuk Tekukan.

3.7.3 Lokasi Tekukan sepanjang spesimen tidak penting. Spesimen dijepit atau supporting oleh salah satu metode yang ditunjukkan secara skematis di **Gambar**.

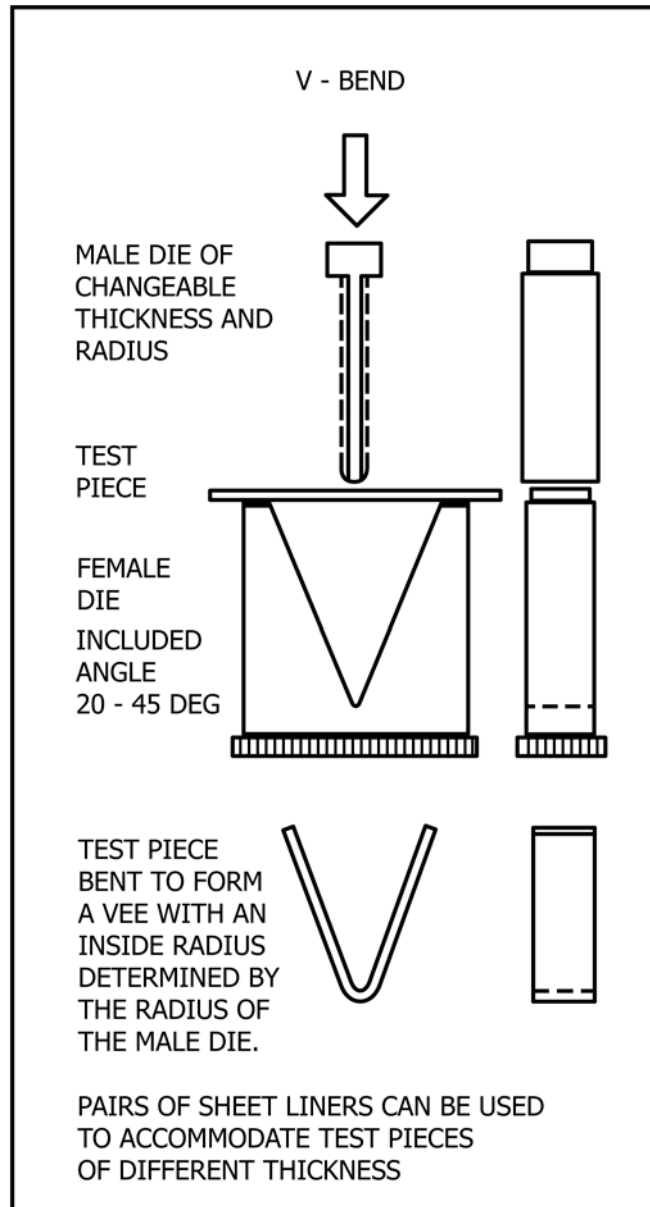


Catatan 1— C = jarak antara penyangga yang lebih rendah,
 r = jari-jari ujung mandrel atau plunger,
 t = ketebalan spesimen lembaran,
 d = diameter spesimen bulat, dan
 w = lebar spesimen lembaran.

Gambar. 3 Perlengkapan Skematik untuk Tekukan Terpandu, Tes Tanpa Die



Gambar. 4 Perlengkapan Skematik untuk Tekukan Terpandu, Uji U-bend



Gambar. 5 Perlengkapan Skematik untuk Tekukan Terpandu, Uji V-Bend

8-10. Ada kemungkinan bahwa hasil yang berbeda akan diperoleh dengan menggunakan perangkat yang berbeda. Metode yang digunakan harus dijelaskan dalam laporan pengujian tentang keuletan bahan yang dievaluasi.

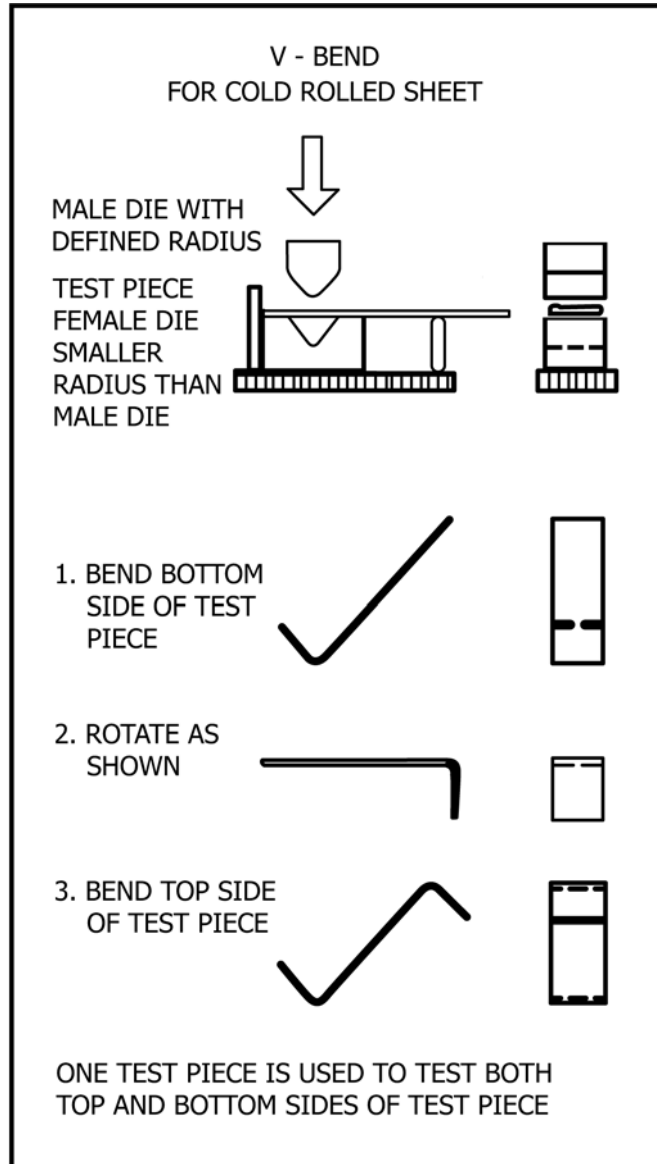
3.7.4 *Arrangement A One End Held Arrangement A* involves memegang salah satu ujung spesimen Tekukan semi-guided dan menerapkan gaya melintang di dekat ujung bebas seperti pada Gambar.8. Tekukan terbentuk di sekitar pin stasioner, mandrel, atau roller dari radius yang ditentukan. Pembengkokan dilanjutkan sampai terjadi kegagalan atau sudut Tekukan yang ditentukan telah tercapai.

3.7.5 Susunan B Susunan Bahan Tipis B adalah untuk uji Tekukan semi-terpandu dari spesimen tipis, dan mencakup dukungan antara penjepit dan jari-jari Tekukan, seperti yang ditunjukkan secara skematis pada Gambar. 9. Tidak ada gaya tarik yang diterapkan kepada

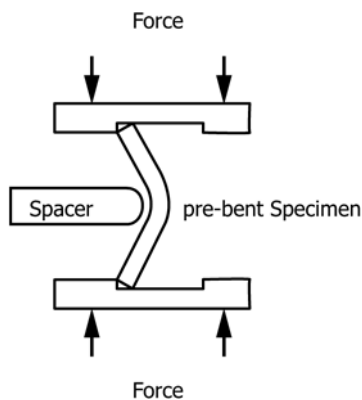
spesimen selama pembengkokan. Hasilnya harus sama untuk pengujian yang menggunakan Pengaturan A, atau Pengaturan B.

3.7.6 *Susunan C Kontak Mandrel pada Susunan Permukaan Luar C* menggunakan pin stasioner, atau mandrel, di mana spesimen Tekukan semi-terpandu ditekuk oleh kekuatan roller, atau mandrel, yang bersentuhan dengan permukaan luar Tekukan (seperti yang ditunjukkan secara skematis pada Gambar 10). Ini mungkin mengerahkan gaya tarik kecil di Tekukan. Tes ini kadang-kadang disebut sebagai *bungkus*, tetapi berbeda dari tes kawat *bungkus* yang dijelaskan dalam Metode E6.

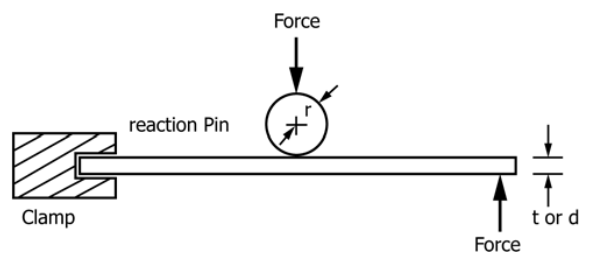
3.7.7 Retakan permukaan dan penyimpangan yang diakibatkan oleh Tekukan harus dievaluasi dan dilaporkan.



Gambar. 6 Perlengkapan Skematik untuk Tekukan Terpandu, Uji V-Bend untuk Lembaran Canai Dingin

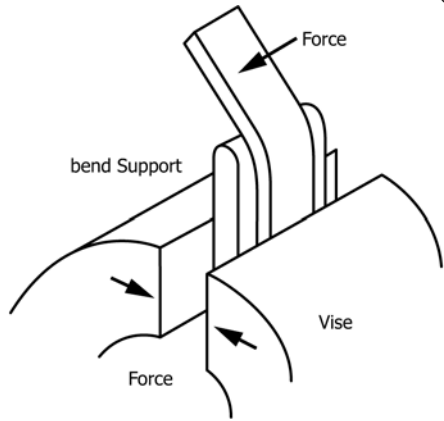


Gambar. 7 Perlengkapan skematik untuk menyelesaikan tes tekuk terpandu dimulai seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 3

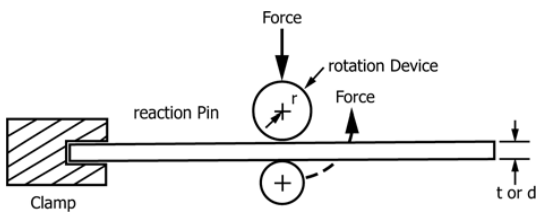


Gambar. 8 Perlengkapan Skematik untuk Pengaturan Uji Tekuk Semi-Panduan- ment A—Satu Ujung Ditahan—Gaya Diterapkan Di Dekat Ujung Bebas

3.8 Free-Bend—Uji Tekukan bebas dibuat tanpa gaya eksternal yang diterapkan pada spesimen di area langsung Tekukan



Gambar. 9 Susunan B untuk Uji Tekuk Semi-Pandu Spesimen Tipis—Salah Satu Ujungnya Dipegang

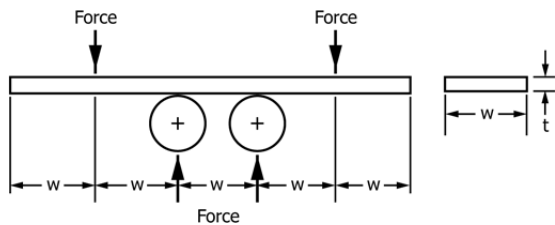


Gambar. 10 Perlengkapan Skematik untuk Arrangement C Uji Tekuk Semi-Pandutan-ment C—One End Held—Gaya Diterapkan Di Dekat Mandrel

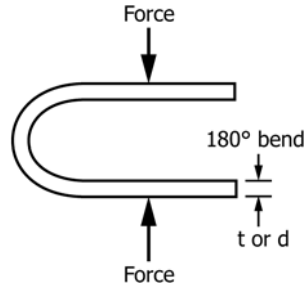
3.8.1 Gaya untuk memulai pembengkokan untuk uji Tekukan bebas harus diterapkan pada, atau dalam jarak satu lebar dari, ujung spesimen. Ini dapat dilakukan dengan mencengkeram spesimen. Jika bahan terlalu kaku untuk merespons gaya tersebut, bahan tersebut harus didukung pada panjang tengah (seperti yang ditunjukkan secara skematis pada Gambar. 11) selama rentang setidaknya lebar spesimen sementara gaya awal diterapkan di dekat kedua ujung spesimen.

3.8.2 Sudut Tekukan bebas diukur setelah spesimen dikeluarkan dari perlengkapan Tekuk dan tidak berada di bawah kekuatan pembatas. Tidak ada radius pengukuran Tekukan yang diperlukan untuk uji Tekukan bebas.

3.8.3 *Type 1-Free-Bend-180° Bend*—Pembengkokan dimulai seperti yang dijelaskan dalam 3.8.1 dan kemudian dilanjutkan sampai Tekukan 180° dikembangkan dengan menerapkan gaya untuk membawa kaki spesimen ke posisi paralel (seperti yang ditunjukkan secara skematis pada Gambar 12).



Gambar. 11 Dukungan dan Kekuatan Tekuk Gratis



Gambar. 12 Tipe 1 180° Tekukan Bebas

3.8.4 *Type 2-Free Bend (Flat on Itself Bend)*—Kaki-kaki spesimen ditempatkan di bawah pelat datar dan dikompresi untuk menghubungkan tidak lebih dekat dari satu lebar jarak spesimen dari ekstensi luar Tekukan (seperti yang ditunjukkan secara skematis pada Gambar 13).

3.8.5 Gaya Tekuk lebih parah dalam tes Type 2-Free-Bend daripada dalam tes Type 1-Free-Bend. Untuk alasan ini, jenis pembengkokan yang digunakan harus dijelaskan dalam laporan.

3.8.6 Bahan yang menua mengeras pada suhu kamar harus diuji dalam jangka waktu yang diizinkan, sebagaimana didefinisikan dalam standar produk.

3.8.7 Setelah menyelesaikan Tekukan bebas, permukaan diperiksa apakah ada retakan dan ketidaksempurnaan.

3.9 *Tekuk dan Ratakan*—Untuk uji Tekukan dan ratakan untuk daktilitas, Tekukan 180° awal dibuat seperti yang dijelaskan dalam 3.8.1 dan 3.8.3. Spesimen kemudian ditempatkan di antara dua pelat paralel yang melampaui bagian spesimen yang bengkok dan lebih lebar dari lebar spesimen.

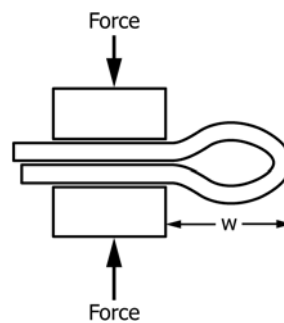
3.9.1 Gaya diberikan untuk menjepit spesimen dan menyebabkan kedua kaki bersentuhan di Tekukan, tidak termasuk mata Tekukan (seperti yang ditunjukkan secara skematis pada Gambar. 14).

3.9.2 Pemeriksaan retakan pada permukaan luar Tekukan dilakukan setelah mengeluarkan spesimen dari gaya Tekuk dan memungkinkan pegas. Jumlah dan ukuran retakan yang diizinkan pada permukaan luar Tekukan harus seperti yang ditentukan dalam standar produk.

3.9.3 Setiap ketidaksempurnaan permukaan yang dihasilkan dari tes Tekukan harus dicatat dan dilaporkan.

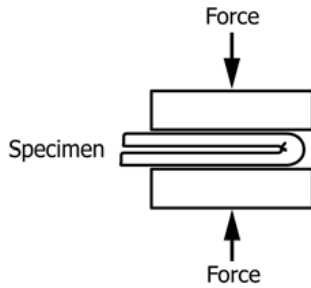
4. Signifikasi and Penggunaan

4.1 Tes Tekuk untuk daktilitas memberikan cara sederhana untuk mengevaluasi kualitas bahan dengan kemampuannya untuk menahan retak



Catatan 1—Jarak dari pelat penjepit ke Tekukan luar tidak boleh kurang dari lebar (w) spesimen Tekukan.

Gambar. 13 Tipe 2 Tekukan Bebas Flat-on Itself



Gambar. 14 Tekuk dan Ratakan

penyimpangan permukaan lainnya selama satu Tekukan terus menerus. Tidak ada pembalikan gaya Tekukan yang harus digunakan saat melakukan tes ini.

4.2 Jenis uji Tekuk yang digunakan menentukan lokasi gaya dan kendala pada bagian spesimen yang bengkok, mulai dari tidak ada kontak langsung hingga kontak terus menerus.

4.3 Tes dapat berakhir pada sudut Tekukan tertentu pada radius yang ditentukan atau dilanjutkan sampai kaki spesimen bersentuhan. Sudut Tekukan dapat diukur saat spesimen berada di bawah gaya Tekuk (biasanya ketika uji Tekukan semi-terpandu digunakan), atau setelah pelepasan gaya seperti saat melakukan uji Tekukan bebas. Persyaratan produk untuk bahan yang diuji menentukan metode yang digunakan.

4.4 Bahan dengan penampang as-fabrikasi persegi panjang, bulat, heksagonal, atau bentuk yang didefinisikan serupa dapat diuji dalam bagian penuh untuk mengevaluasi sifat Tekukannya dengan menggunakan prosedur yang diuraikan dalam metode pengujian ini, dalam hal ini persyaratan lebar dan ketebalan relatif tidak berlaku.

5. Apparatus

4.5 Untuk mencegah masuknya gaya yang tidak terkendali saat mencapai Tekukan, perangkat aplikasi penjepitan dan gaya berikut harus digunakan.

4.6 Uji Tekuk Terpandu—Bentuk material selama pembengkokan dikendalikan dengan menggunakan sepasang pin, rol, atau permukaan datar dengan jari-jari ujung, untuk mendukung spesimen sementara plunger terpandu menekuk material pada panjang tengahnya, seperti yang ditunjukkan secara skematis pada Gambar 3. Penjelasan yang lebih rinci tentang perlengkapan yang digunakan untuk tes ini diberikan dalam Metode E190.

4.6.1 Ketika uji Tekukan terpandu harus diselesaikan dengan menekuk melalui Tekukan 180° yang tidak dapat dicapai menggunakan perlengkapan yang ditunjukkan pada Gambar. 3 atau Gambar. 4, perlengkapan yang ditampilkan secara skematis pada Gambar. 7 dapat digunakan untuk memposisikan ujung spesimen dan mencegahnya dikeluarkan sementara gaya kompresi diterapkan untuk menyatukan kaki-kaki spesimen sampai sejajar satu sama lain. Spacer dengan ketebalan sama dengan dua kali jari-jari yang diperlukan dimasukkan pada Tekukan untuk menghentikan gaya pada jarak yang ditentukan.

4.7 Tes Tekukan Semi-terpandu—Untuk Tekukan semi-terpandu, bagian dalam Tekukan dikendalikan oleh kontak dengan pin atau mandrel having a defined radius.

4.7.1 Semi-guided Bend—Arrangement A—This arrangement involves holding one end of the specimen while a reaction pin, or mandrel, bears against the specimen at an intermediate location, usually the mid-length. A device (as

ditampilkan secara skematis pada Gambar 8) digunakan untuk menerapkan gaya Tekuk di dekat ujung bebas spesimen.

4.7.2 Tekukan Semi-pandutan—Susunan B untuk bahan tipis—Spesimen ditempatkan pada penyangga dengan jari-jari ujung yang sesuai dan dijepit dalam catok bangku, seperti yang ditunjukkan secara skematis pada Gambar 9. Ini mengontrol lokasi Tekukan yang jauh dari gaya penjepit.

4.7.3 Tekukan Semi-terpandu—Susunan C—Spesimen dipegang di salah satu ujungnya sementara pin reaksi, atau mandrel, menyentuh permukaan bagian dalam spesimen di lokasi Tekukan. Perangkat berputar menerapkan gaya Tekuk terhadap sisi berlawanan dari spesimen untuk membuatnya sesuai dengan pin, atau mandrel, seperti yang ditunjukkan secara skematis pada Gambar. 10.

4.8 Tes Tekukan Bebas—Tidak ada gaya Tekuk yang diterapkan langsung ke area Tekukan dalam uji Tekukan bebas selama pembengkokan akhir. Tekukan awal dapat dilakukan menggunakan perangkat Tekukan semi-dipandu.

4.8.1 Gaya uniaksial, seperti catok penjepit, atau mesin uji kompresi, digunakan untuk menekuk spesimen. Dukungan (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11) mungkin diperlukan untuk memulai Tekukan. Tidak ada pembebanan ketegangan sepanjang spesimen yang diizinkan.

4.9 Uji Tekukan dan Ratakan—Permukaan luar kaki spesimen di bagian datar dekat Tekukan mengalami gaya tekan selama uji perataan.

4.9.1 Tes ini dimulai dengan cara yang sama seperti Tekukan bebas. Gaya tekan kemudian diterapkan pada bagian Tekukan spesimen. Gaya harus cukup untuk menutup mata Tekukan sampai dua permukaan luar Tekukan sejajar, tidak termasuk jari-jari luar Tekukan (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14.)

4.10 Jari-jari pin, mandrel, atau roller apa pun, yang digunakan dalam setiap pengaturan beberapa metode uji Tekukan tidak boleh berbeda lebih dari 6.5% dari nilai nominal yang ditentukan untuk jari-jari.

4.11 Panjang semua pin, mandrel, rol, dan flat radius yang digunakan dalam pengujian Tekukan harus melebihi lebar spesimen. Mereka harus cukup kuat dan cukup kaku untuk menahan deformasi yang signifikan.

6. Sampel

4.12 Pengambilan sampel untuk uji Tekukan harus dilakukan secara accordance dengan persyaratan standar, spesifikasi, dan kode yang relevan.

7. Uji Spesimen

4.13 Spesimen harus dipilih dari bahan yang akan diuji menggunakan salah satu prosedur berikut:

4.13.1 Spesimen Penampang Penuh—Jika dimensi terkecil dari penampang sama dengan atau kurang dari 38 mm (1 1/2 in.), spesimen dapat memiliki ketebalan penuh asalkan ada panjang spesimen yang cukup untuk memungkinkan pembengkokan ke sudut yang ditentukan.

4.13.2 Spesimen Ketebalan Penuh—Bahan apa pun yang diuji keuletan dalam kondisi as-fabrikasi dapat mengalamia bend test, provided the specimen width and length are sufficient.

4.13.2.1 Ketika tidak praktis untuk menguji spesimen penampang penuh, tetapi ketika masih praktis untuk menguji spesimen ketebalan penuh dari bahan yang tidak melebihi 38 mm (1 1/2 in.)

ketebalan nominal, spesimen harus dari ketebalan bahan dan rasio lebar terhadap ketebalan harus baik:

(a) 2:1, asalkan lebar minimum harus 18 mm ($\frac{3}{4}$ in.) terlepas dari ketebalannya .

(b) 8:1, atau lebih besar untuk lembaran tipis di mana tidak praktis untuk menggunakan spesimen tipe (a).

4.13.2.2 Lebar 38 mm ($\frac{1}{2}$ in.) dapat digunakan untuk uji tekuk produk baja yang diuji dalam ketebalan jadi.

4.13.2.3 Laboratorium yang menggunakan blanko selebar 20 mm untuk menyiapkan spesimen uji tegangan dapat melakukan uji Tekukan menggunakan spesimen selebar 20 mm yang serupa. Lihat Metode Pengujian E8/E8M. Lihat Metode Pengujian E8/E8M untuk penggunaan $\frac{3}{4}$ in. .

4.13.3 Panjang spesimen harus cukup untuk memungkinkan pembengkokan ke sudut yang ditentukan tanpa menimbulkan kekuatan pembatas eksternal yang akan mempengaruhi hasil uji Tekukan. Rasio lebar-ketebalan spesimen uji dapat mempengaruhi keuletan Tekukan.

4.13.4 *Permukaan Mesin Spesimen*—Untuk bahan exceeding 13 mm ($\frac{1}{2}$ in.) dalam ketebalan nominal, jarak melintasi flat, atau diameter, spesimen dapat dikerjakan dari bahan ketika bagian penuh, atau spesimen ketebalan penuh tidak digunakan. Ketebalan, atau diameter, spesimen harus minimal 13 mm ($\frac{1}{2}$ in.). Rasio lebar terhadap ketebalan spesimen persegi panjang harus 2:1, dan panjangnya cukup untuk memungkinkan pembengkokan ke sudut yang ditentukan.

4.13.5 Ketika spesimen mesin harus ditebuk di sekitar sumbu yang dinyatakan sehubungan dengan dimensi utama produk, sumbu Tekuk harus ditandai dengan tepat pada spesimen .

4.13.6 Ketika sampel diambil dengan pengeboran inti, spesimen penampang persegi 13 mm kali 13 mm ($\frac{1}{2}$ in. kali $\frac{1}{2}$ in.) dapat dikerjakan dari inti untuk membuat spesimen uji tekuk .

4.13.7 Satu permukaan utama spesimen persegi panjang dengan ketebalan reduced harus menjadi permukaan as-fabrikasi dari bagian tersebut.

7.2 *Finishing Permukaan Tepi Spesimen*—Tepi longitudinal spesimen persegi panjang dapat dibulatkan ke radius tidak melebihi 1,5 mm ($\frac{1}{16}$ in.) untuk spesimen yang sama dengan atau kurang dari 50 mm (2 in.), dan dibulatkan ke radius tidak melebihi 3 mm ($\frac{1}{8}$ masuk.) untuk spesimen dengan ketebalan lebih dari 50 mm (2 in.). Permukaan yang dipotong api harus dikerjakan untuk menghilangkan logam yang terkena dampak pemotongan api. Permukaan tepi yang dicukur harus dikerjakan atau dihaluskan dengan sander sabuk, file, atau abrasif serupa, untuk menghilangkan logam yang terkena geser.

7.3 Penentuan Arah Uji Spesimen dari Bahan Tempa:

7.3.1 Untuk spesimen uji longitudinal, panjangnya harus sejajar dengan arah penggulungan, penempaan, peregangan, gambar, atau ekstrusi (seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 1). Lihat 3.3.1.

7.3.2 Untuk spesimen uji melintang, panjangnya harus pada sudut 90° ke arah penggulungan, penempaan, gambar, atau extrusion (as indicated in Fig. 2). Refer to 3.3.2.

7.4 Penandaan untuk Identifikasi:

7.4.1 Spesimen harus dicap atau diidentifikasi dengan tepat

7.4.2 Identifikasi harus mendekati akhir spesi- pria bila dapat dipraktikkan.

7.4.3 Tidak ada stamping atau penandaan yang harus dilakukan di daerah Tekukan spesimen.

8. Prosedur

4.14 Arah Tes:

4.14.1 Dalam pengujian spesimen longitudinal, sumbu Tekukan harus 90° ke arah penggulungan, penempaan, gambar, atau ekstrusi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 1. Lihat 3.3.1.

4.14.2 Dalam pengujian spesimen melintang, sumbu Tekukan harus sejajar dengan arah penggulungan, penempaan, gambar, atau ekstrusi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2. Lihat 3.3.2.

4.14.3 Untuk spesimen bulat yang dikerjakan dari bagian selain bagian bulat, permukaan spesimen harus sejajar dengan permukaan produk induk .

4.15 *Permukaan Mengalami Ketegangan*—Dalam pengujian spesimen dengan ketebalan yang dikurangi, permukaan tegangan harus menjadi permukaan as - fabrikasi bagian .

4.16 Prosedur untuk Uji Tekuk Terpandu :

4.16.1 Tempatkan spesimen di atas dua penyangga bulat sepa- dinilai dengan jarak bebas (C) sama dengan $(2r + 3t)$, $6(t/2)$, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar. 3, di mana (r) adalah jari-jari plunger atau mandrel dan (t) adalah ketebalan spesimen .

4.16.2 Tekuk spesimen dengan menerapkan gaya melalui plunger atau mandrel yang bersentuhan dengan spesimen pada panjang tengah antara penyangga ($C/2$) di sisi berlawanan dari spesimen dari penyangga ujung. Terapkan gaya Tekuk dengan lancar dan tanpa guncangan .

4.16.3 Lanjutkan pembengkokan sampai terjadi kegagalan, atau sampai sudut Tekukan yang ditentukan, atau sudut maksimum untuk perlengkapan tercapai . Sudut Tekukan diukur saat spesimen berada di bawah gaya Tekuk.

4.16.4 Ketika sudut yang diperlukan tidak dapat dicapai dalam perlengkapan Tekukan yang ditunjukkan pada Gambar 3, selesaikan pengujian dengan menekan spesimen di antara pelat yang sesuai sampai kondisi- tions Tekukan yang ditentukan diperoleh, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Terapkan gaya dengan lancar, tanpa kejutan. Ketika diinginkan untuk tidak melebihi 180° Tekukan saat menyelesaikan Tekukan, tempatkan di antara dua kaki spesimen spacer yang memiliki ketebalan dua kali jari-jari Tekukan yang diperlukan .

4.17 Prosedur untuk Tes Tekuk Semi-Terpandu:

4.17.1 Prosedur untuk melakukan tes harus mengikuti salah satu dari tiga metode: A—Held End, B—Bend Area Supported, atau C—Mandrel Guided. Lihat 3.7 dan 5.3 .

4.17.2 Held-End—Pengaturan A:

4.17.2.1 Pegang salah satu ujung spesimen dengan aman sehingga sumbu Tekuk terletak di garis tengah pin reaksi atau roller.

4.17.2.2 Tekuk spesimen dengan menggunakan fixture mewujudkan fitur yang sesuai yang ditunjukkan pada Gambar. 8.

4.17.2.3 Terapkan gaya Tekuk dengan lancar, tanpa guncangan

4.17.2.4 Lanjutkan pembengkokan sampai sudut Tekukan yang ditentukan tercapai dengan spesimen di perlengkapan Tekukan dan di bawah gaya Tekuk, atau sampai terjadi kegagalan .

4.17.3 Susunan B—Bend Area Didukung—Thin Mate- rial:

4.17.3.1 Pegang salah satu ujung spesimen dengan aman terhadap penyangga Tekukan dengan menjepit catok, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Dukungan harus memperpanjang minimal dua lebar spesimen di luar penjepit.

4.17.3.2 Menggunakan palu, palu spesimen di atas tepi penyangga yang bulat. Jangan memukul spesimen di area yang akan membentuk bagian mana pun dari Tekukan.

4.17.3.3 Lanjutkan pembengkokan sampai sudut Tekukan yang ditentukan tercapai atau terjadi kegagalan. Ketika pukulan palu adalah sumber gaya Tekuk, sudut Tekukan harus diukur tanpa gaya.

4.17.3.4 Dalam hal terjadi sengketa, Pengaturan Held-End A of 8.4.2 harus digunakan.

8.4.4 Tekukan berpemandu mandrel —Susunan C:

8.4.4.1 Jepit salah satu ujung spesimen dengan aman, seperti yang ditunjukkan secara skematis pada Gambar. 10.

8.4.4.2 Tempatkan pin reaksi, dengan jari-jari Tekukan yang ditentukan(r) terhadap spesimen. Jika ketebalan spesimen telah dikurangi dengan pemesinan, permukaan mesin harus ditempatkan pada pin. Untuk sudut Tekukan 180° atau kurang, permukaan berjari-jari dapat diganti dengan pin.

8.4.4.3 Pegang mandrel kedua yang bersentuhan dengan permukaan spesimen yang berlawanan dan putar mandrel ini di bawah gaya dalam busur untuk mempertahankan bagian dalam permukaan Tekukan terhadap mandrel pertama. Jari-jari mandrel kedua tidak kritis dan dapat berukuran nyaman. Mandrel kedua dapat menggunakan roller sebagai permukaan kontak dengan spesimen.

8.4.4.4 Lanjutkan menekuk sampai material berhasil mencapai sudut yang ditentukan atau sampai terjadi kegagalan dalam Tekukan. Sudut Tekukan diukur saat spesimen berada di bawah gaya Tekuk.

4.18 Prosedur untuk Tes Tekukan Bebas:

4.18.1 Mulai Tekukan dengan menggendang spesimen di dekat setiap ujung dan membawa ujungnya ke arah satu sama lain, asalkan bahannya cukup ulet. Jika material tidak mudah ditekuk, gunakan perangkat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11 untuk memulai Tekukan. Lihat 3.8 dan 5.4.

4.18.2 Uji Tekuk Bebas Tipe 1—Lanjutkan menekuk specimen di bawah tekanan dalam alat penjepit sampai kedua kaki sejajar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12. Ini menyelesaikan uji Tekukan bebas Tipe 1, 180°.

4.18.3 Tes Tekukan Bebas Tipe 2—Jika persyaratan pengujian adalah kedua kaki bersentuhan, kekuatan perangkat penjepit ditingkatkan hingga kondisi yang ditunjukkan pada Gambar. 13 tercapai, tanpa menerapkan gaya di lokasi mana pun dengan lebar kurang dari satu spesimen dari ujung luar Tekukan. Ini disebut sebagai uji Tekukan bebas Tipe 2, flat-on-itself.

4.19 Prosedur untuk tes Tekukan dan pipih:

4.19.1 Bentuk Tekukan awal ke sudut sekitar 180° menggunakan prosedur yang diuraikan dalam 8.5.1. Lihat 3.8.1 dan 5.4.1.

4.19.2 Tempatkan spesimen di antara dua pelat yang akan menutupi bagian spesimen yang bengkok. Berikan gaya sampai spesimen diratakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 14.

4.19.3 The flattening operation may develop longitudinal strains exceeding the forming limit of the material. This is dependent on the material and the specimen thickness.

4.19.3.1 Pembengkokan diikuti dengan perataan memaksakan tekanan serat luar yang ekstrem dan bahan dapat menunjukkan retakan eksternal di Tekukan atau mungkin ada kegagalan tekan pada permukaan bagian dalam Mata Tekukan .

4.19.3.2 Ketegangan serat luar berkurang ketika bagian dalam Tekukan runtuh, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15, karena ini mengurangi jumlah peregangan permukaan luar. Ini mungkin cukup untuk menghindari retakan permukaan pada permukaan luar Tekukan.

4.19.3.3 Jika bagian dalam Tekukan tidak runtuh, ada kemungkinan strain berlebihan berkembang yang menyebabkan permukaan luar Tekukan retak, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 16.

4.20 Pemeriksaan Permukaan Tekukan — Spesimen Tekukan dapat dilepas kapan saja selama operasi pembengkokan untuk pemeriksaan permukaan cembung Tekukan untuk mengetahui adanya retakan atau penyimpangan. Pembengkokan selanjutnya harus dilanjutkan segera setelah pemeriksaan.

4.21 Sudut Tekukan—Sudut Tekukan ditentukan oleh proyeksi garis dengan permukaan datar spesimen di luar wilayah Tekukan dan merupakan sudut berpotongan dari garis-garis ini. Ketika pembengkokan selesai, jari-jari Tekukan di seluruh wilayah Tekukan, tanpa gaya kecuali ditentukan lain, tidak boleh lebih kecil dari nilai yang diperlukan yang ditentukan dalam standar produk .

4.21.1 Springback, ketika gaya Tekuk dilepaskan, akan menyebabkan jari-jari dan sudut Tekukan meningkat. Tidak ada penyesuaian pada sudut Tekukan yang harus dilakukan untuk menyesuaikan pegas.

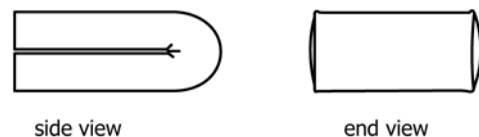
4.21.2 Jika materi runtuh oleh ketegangan lokal, tes tidak valid. Prosedur alternatif harus digunakan untuk mengontrol jari-jari Tekukan bagian dalam.

4.21.3 Tes selesai ketika kondisi Tekukan yang ditentukan tercapai. Jika retakan signifikan muncul di permukaan luar Tekukan saat gaya Tekuk sedang diterapkan, pengujian harus dihentikan dan bahan harus dievaluasi sesuai dengan standar produk yang sesuai.

4.21.4 Retakan yang terjadi di sudut-sudut bagian yang bengkok tidak boleh dianggap signifikan kecuali jika melebihi ukuran yang ditentukan untuk retakan sudut. Jika tidak ada ukuran retakan yang ditentukan, retakan sudut yang tidak melebihi ketebalan nominal spesimen tidak boleh dianggap gagal .

4.21.5 Dalam pengujian yang diperlukan oleh spesifikasi yang dihasilkan, pengujian dapat dianggap selesai ketika kondisi penerimaan telah terpenuhi.

4.22 Kecepatan Tekuk—Laju gerak dalam membentuk Tekukan harus sesuai dengan aplikasi proses yang diantisipasi dari



Flattened bend - collapsed eye of the bend

NOTE 1—Tekuk dan ratakan Tekukan material di mana mata Tekukan runtuh, menghilangkan ketegangan pada permukaan luar Tekukan selama Bend dan Tes pipih .

Gambar. 15 Tes tekuk dan ratakan (mata Tekukan runtuh)



Flattened bend - outer surface and edge cracks

NOTE 1 — Tekuk dan ratakan Tekukan material di mana mata Tekukan tidak runtuh, dan permukaan luar Tekukan terbelah sebagai retakan terbentuk di dua tempat selama tes Bend dan Flatten.
Gambar. 16 Tes tekuk dan ratakan (mata Tekukan tidak runtuh)

materi yang sedang diuji. Ketika tidak ada tarif yang ditentukan, tes harus dilakukan pada tingkat yang konsisten dengan praktik yang aman untuk metode ini .

9. Evaluasi

4.23 Periksa permukaan cembung spesimen bengkok apakah ada retakan atau cacat terbuka lainnya, menggunakan mata tanpa bantuan (tanpa pembesaran). Retakan tepi yang terkait dengan persiapan sampel tidak boleh dipertimbangkan selama evaluasi. Lihat 8.8.4.

4.23.1 Ketika pengujian dilakukan sebagai kriteria penerimaan, ukuran retakan yang diijinkan harus ditentukan oleh kode atau spesifikasi yang memerlukan pengujian.

4.23.2 Bahan yang rentan terhadap pengerasan usia harus diuji dalam waktu yang diizinkan oleh spesifikasi produk.

4.23.3 Penyimpangan permukaan, hilangnya kepatuhan pelapisan, atau diskontinuitas lain yang dikembangkan oleh uji Tekukan harus dinilai sesuai dengan spesifikasi produk yang sesuai.

4.23.4 Gangguan permukaan, seperti kulit jeruk, yang de-velop selama tes Tekukan, di mana tidak ada penetrasi permukaan, tidak dianggap sebagai kegagalan retak.

10. Laporan

4.24 Laporkan informasi berikut:

4.24.1 Identifikasi spesimen,

4.24.2 Ukuran dan jenis spesimen (Bagian 7),

4.24.3 Jenis tes (Bagian 8),

4.24.4 Radius yang digunakan untuk membentuk Tekukan,

4.24.5 Jika dipelumas, jenis pelumasan,

4.24.6 Sudut Tekukan,

4.24.7 Jumlah dan ukuran retakan yang terlihat di Tekukan, dan

4.24.7.1 Ketika tes dilakukan untuk tujuan informasi, laporkan ukuran dan lokasi setiap dan semua retakan yang terlihat oleh mata tanpa bantuan.

4.24.8 Apakah spesimen lulus atau gagal memenuhi persyaratan.

11. Presisi and Bias

4.25 Tidak ada informasi yang disajikan tentang presisi atau bias Metode Uji E290 untuk mengukur keuletan dengan menekuk, karena tes ini non-kuantitatif.

12. Kata Kunci

4.26 lipat; retak; Daktilitas; Tekukan pipih; membentuk batas; Fraktur; Tekukan bebas; Tekukan terpandu; Mandrel; pin; Plunger; roller

RINGKASAN PERUBAHAN

Komite E28 telah mengidentifikasi lokasi perubahan yang dipilih pada standar ini sejak edisi terakhir (E290-13) yang dapat memengaruhi penggunaan standar ini.

(1) 3.6.2 was revised.

ASTM International tidak mengambil posisi sehubungan dengan validitas hak paten apa pun yang ditegaskan sehubungan dengan item apa pun yang disebutkan dalam standar ini. Pengguna standar ini secara tegas disarankan bahwa penentuan validitas hak paten tersebut, dan risiko pelanggaran hak tersebut, sepenuhnya milik mereka sendiri tanggung jawab.

Standar ini dapat direvisi kapan saja oleh komite teknis yang bertanggung jawab dan harus ditinjau setiap lima tahun dan jika tidak direvisi, baik disetujui kembali atau ditarik. Komentar Anda diundang baik untuk revisi standar ini atau untuk standar tambahan dan harus ditujukan ke Kantor Pusat Internasional ASTM. Komentar Anda akan menerima pertimbangan yang cermat pada pertemuan komite teknis yang bertanggung jawab, yang mungkin Anda hadiri. Jika Anda merasa bahwa komentar Anda belum menerima sidang yang adil, Anda harus membuat pandangan Anda diketahui oleh Komite Standar ASTM, di alamat yang ditunjukkan di bawah ini .

Standar ini dilindungi hak cipta oleh ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, Amerika Serikat. Cetak ulang individu (salinan tunggal atau ganda) dari standar ini dapat diperoleh dengan menghubungi ASTM di alamat di atas atau di 610-832-9585 (telepon), 610-832-9555 (faks), atau service@astm.org (email); atau melalui situs web ASTM (www.astm.org). Hak izin untuk memfotokopi standar juga dapat diperoleh dari Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Telp: (978) 646-2600; <http://www.copyright.com/>

