

RANCANG BANGUN PRESS TOOL UNTUK ALAT BENDING PELAT TIPE DIE-V AIR BENDING

Muhammad Arsyad Suyuti¹, Rusdi Nur², Muhammad Iswar³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang

Jalan Perintis Kemerdekaan Km. 10 Tamalanrea Makassar 90245 Sulawesi Selatan, Indonesia

muhammadarsyadsuyuti@poliupg.ac.id ¹

Abstrak

Pekerjaan pembentukan logam (metal forming) pada industri permesinan maupun pabrikasi las saat ini sangat banyak permintaan khususnya pada pekerjaan yang memerlukan proses bending. Proses bending merupakan pembentukan logam yang umumnya menggunakan lembaran pelat atau batang, baik dari bahan logam ferro maupun logam non ferro dengan cara ditekuk, yang mana dalam proses pembengkokan akan menyebabkan terjadinya pemuluran atau peregangan pada sumbu bidang netral sepanjang daerah bending dan menghasilkan garis bending yang lurus. Penggunaan teknologi tepat guna telah banyak digunakan untuk meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan efektivitas dalam proses produksi pada industri permesinan maupun pabrikasi las berskala kecil dan menengah. Salah satu teknologi tepat guna yang memungkinkan diterapkan dalam proses produksi khususnya pekerjaan bending pelat yaitu mesin atau alat press bearing dengan cara menambahkan dengan press tool yang dilengkapi punch dan die penekuk. Press tool adalah salah satu jenis alat bantu pembentukan, pemotongan dan penekukan produk dari bahan dasar lembaran pelat yang operasinya menggunakan mesin press. Melalui penelitian telah tercipta press tool yang dilengkapi komponen pembentuk berupa punch dan die-V tipe air bending. Adapun spesifikasi press tool ini yaitu: sudut punch sama dengan 85o, radius punch sama dengan 1.5 mm, panjang punch sama dengan 300 mm, sudut die sama dengan 85o, lebar bukaan die sama dengan 33 mm, jarak langkah sama dengan 19 mm.

Kata kunci: pembentukan logam, *press tool*, *air bending*, *punch*, *die*

PENDAHULUAN

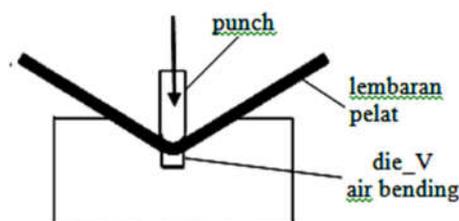
Dewasa ini proses pembentukan logam (metal forming) pada industri permesinan dan bengkel las berkembang sangat pesat khususnya pada proses bending. Proses bending merupakan pembentukan logam yang umumnya menggunakan lembaran pelat atau batang baik dari bahan logam ferro maupun logam non ferro dengan cara ditekuk, dimana pada proses bending ini terjadi pemuluran atau peregangan pada sumbu bidang netral sepanjang daerah bending dan menghasilkan garis bending yang lurus. [1]. Fenomena perkembangan pembentukan logam melalui proses bending ini terjadi pada industri pabrikasi permesinan dan bengkel las pada daerah perkotaan sampai pelosok desa baik yang berskala kecil maupun berskala besar. Hal tersebut dipicu oleh semakin banyaknya penggunaan berbagai macam teknologi mekanisasi terutama dalam bidang ketahanan dan keamanan pangan dalam kehidupan masyarakat sehari-hari

seperti teknologi proses pasca panen dan teknologi-teknologi mekanisasi pertanian lainnya [2].

Jenis pekerjaan bending pelat yang banyak ditemui untuk pembuatan maupun perbaikan pada bengkel pabrikasi permesinan dan las antara lain komponen panel elektronik, panel kendaraan mobil, tool box, pembakaran ikan, alat dan mesin pertanian dan sebagainya [3&4]. Namun masih banyak bengkel-bengkel yang berskala kecil menekuk pelat dengan cara manual, yaitu menggunakan palu dan landasan besi sebagai alas sehingga waktu yang digunakan tidak efisien dan produk yang dihasilkan pun kurang terjamin kualitasnya. Peralatan yang dimiliki sebuah industri biasanya mesin berkapasitas besar yang mana ongkos operasionalnya pun akan besar, sedangkan untuk memproduksi benda yang berukuran kecil tidak harus menggunakan mesin berkapasitas besar.

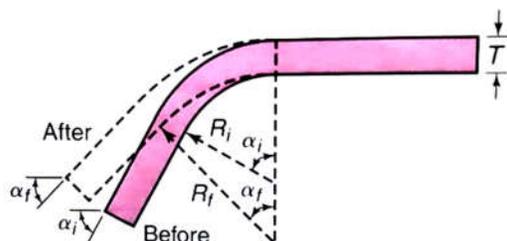
Press tool adalah salah satu jenis alat bantu untuk membentuk (forming), memotong (cutting) dan menekuk (bending) benda kerja dari bahan dasar lembaran pelat logam melalui pembentuk punch dan die yang operasinya menggunakan mesin press

[5&6]. Pada proses bending pelat terdapat tiga tipe die pembentuk yaitu tipe air bending, wiper die bending dan V-die bending. Dari ketiga tipe tersebut air bending merupakan tipe yang paling umum digunakan untuk menekuk lembaran pelat dari logam karena fleksibilitasnya. Seperti proses bending pada tipe lainnya, penekukan material pelat dengan menggunakan die-V tipe air bending ini juga dilakukan melalui tekanan punch yang diarahkan ke lembaran pelat logam yang terpasang pada die tersebut[7]. Pada gambar 1. Berikut ini menunjukkan proses bending dengan menggunakan die -V tipe air bending:



Gambar 1 Ilustrasi Die-V Air Bending [8]

Proses pembentukan logam melalui metode *air bending* dapat menghasilkan sudut *bending* yang berbeda dari satu pasangan *punch* dan *die* pada langkah penekanan yang sama maupun berbeda, dimana sudut bending yang terbentuk oleh tekanan beban yang diberikan (*before unloading*) dapat berubah menjadi lebih besar setelah tekanan beban dihilangkan (*after unloading*), fenomena ini yang biasa disebut *springback* [9]. Gambar 2 berikut ini memperlihatkan ilustrasi *springback*:



Gambar 2 Ilustrasi fenomena *springback* before unloading dan after unloading [8]

Sehingga *springback* yang terjadi adalah

$$= \alpha_f - \alpha_i \dots\dots\dots(1)$$

α_f – sudut bending after unloading(2)

α_i – sudut bending – benda kerja pada saat rapat pada die (before unloading)(3)

Ada beberapa parameter yang menentukan besarnya nilai *springback* pada proses bending yaitu tebal pelat, radius punch, sudut punch, sudut die, radius die, dan clearance punch dan die, kekuatan tarik, modulus elastisitas, kekerasan bahan, lebar bukaan V die dan langkah punch [10&11]. Sehingga desain yang baik terhadap geometri punch dan die pada pembuatan press tool untuk air bending sangat penting untuk diperhatikan.

Berdasarkan uraian tersebut diatas, permasalahan yang akan diselesaikan ialah bagaimana menciptakan alat bending pelat yang berukuran kecil yang dapat digunakan oleh bengkel permesinan dan pabrikasi las yang berskala kecil dan menengah dengan biaya terjangkau.

Dengan demikian diperlukan penerapan teknologi tepat guna untuk meningkatkan efektifitas pekerjaan proses bending pelat pada industri kecil menengah khususnya pada bengkel permesinan dan pabrikasi las. Penggunaan mesin atau alat teknologi tepat guna telah banyak digunakan untuk meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan efektivitas dalam proses produksi pada industri rumah tangga berskala kecil sampai pada daerah pelosok. Salah satu teknologi tepat guna yang memungkinkan diterapkan dalam proses bending pelat logam adalah mesin press yang dilengkapi dengan press tool. Oleh karena itu dilakukan penelitian rancang bangun press tool sebagai alat bending pelat dengan memakai die-V tipe air bending.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan selama tiga bulan di bengkel mekanik dan laboratorium mekanik Politeknik Negeri Ujung Pandang. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain besi baja permesinan berbentuk poros, persegi dan pelat. Sedangkan peralatan yang digunakan adalah mesin frais, mesin bubut, mesin bor, mesin gerinda, mesin gergaji potong dan berbagai alat ukur dimensi. Tahapan-tahapan rancang bangun press tool tipe air bending ini sebagai berikut:

Pertama yaitu tahap perancangan. Pada tahap perancangan ini terlebih dahulu mendesain konsep press tool yang terdiri dari die set, punch dan die-V. Setelah final konsep rancangan disetujui, selanjutnya dibuat desain gambar sesuai dengan standar ISO. Gambar desain ini meliputi gambar desain rancangan secara keseluruhan dan gambar semua komponen rancangan baik komponen yang dibuat maupun komponen standar.

Kedua yaitu tahapan pembuatan dan perakitan. Pada tahap ini komponen-komponen yang tidak standar dibuat dengan mengacu pada gambar kerja hasil rancangan dan untuk komponen standar

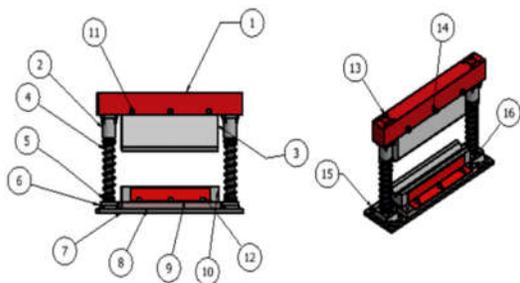
dibeli. Setelah semua komponen yang dibuat dan dibeli tersedia maka selanjutnya press tool dirakit sesuai dengan final desain.

Dan tahap terakhir yaitu uji coba alat press tool dengan die-V tipe air bending. Pada tahap ini press tool yang telah dirakit selanjutnya digunakan untuk menekuk pelat dari baja karbon rendah St. 37 ketebalan 3 mm. Eksperimen dilakukan dengan memakai dies sudut 85o. Sedangkan punch yang digunakan bersudut 85o dan radius 1.5 mm. Setelah eksperimen selesai maka produk hasil tekukan diukur sudut tekuknya menggunakan busur bilah kecermatan 5o untuk mengetahui sudut bending yang terbentuk.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perancangan Press Tool

Komponen *press tool* terdiri dari sub rakitan *die set*, *punch* dan *die*. *Die set* merupakan subrakitan yang berfungsi sebagai tempat untuk memasang komponen *punch* maupun *die*. *Die set* didesain agar dapat berfungsi sebagai alat bantu untuk membengkokkan material pelat dari logam. *Die set* ini khusus dirancang agar *punch* dan *die* yang digunakan dapat diganti-ganti sesuai dengan kebutuhan. Setelah *punch* dan *die* dirakit pada *die set* maka alat bantu tersebut disebut *press tool*. Adapun beberapa komponen telah didesain dalam rancang bangun *press tool* ini antara lain:



Gambar 3 Konstruksi Rancangan Press Tool

Berdasarkan gambar 1. diatas, *press tool* memiliki beberapa komponen yaitu sebagai berikut: 1) *Top plate*; 2) *Bearing*; 3) *Punch*; 4) *Pegas*; 5) *Guide post*; 6) *Dudukan guide post*; 7) *Bottom plate*; 8) *Pelat pelapis*; 9) *Pelat pengunci die*; 10) *Die*; 11) *Baut pengikat punch dan Top plate*; 12) *Baut pengunci die*; 13) *Baut bearing*; 14) *Mur pengikat punch dan top plate*; 15) *Baut dudukan*; 16) *Baut pelapis die*.

Terdapat beberapa komponen memiliki peran penting pada *press tool* untuk alat *bending V Brake* ini. Salah satu komponen yang kritis yang

membutuhkan desain yang tepat adalah pegas tekan. Dengan demikian diperlukan pemilihan pegas tekan yang akan digunakan sebagai berikut ini:

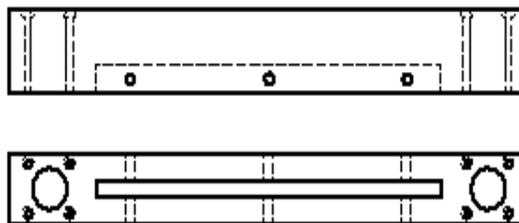
1. Massa komponen yang membebani pegas tekan

Komponen *press tool* yang membebani pegas tekan yaitu pelat atas (*top plate*), *punch*, *ring*, dan *bearing*. Untuk menentukan massa komponen-komponen tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [12]:

$$W = V \cdot \rho \dots\dots\dots (4)$$

Dimana: *W* = massa komponen (kg); *V* = volume komponen (mm³); ρ = massa jenis (kg/mm³). Komponen-komponen *press tool* tersebut terbuat dari baja karbon sehingga massa jenisnya sebesar 7860 kg/m³ = 0.0000786 kg/mm³. Berikut adalah perhitungan massa komponen-komponen yang membebani pegas:

a. *Top plate*



Gambar 4 Desain top plate

Berdasarkan dimensi desain *top plate* maka massa *top plate* dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{volume top plate (V}_I) = p \times l \times t \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{volume lubang poros (V}_{II}) = \pi r^2 \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{volume alur punch (V}_{III}) = p \times l \times t \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{volume lubang baut (V}_{IV}) = \pi r^2 \dots\dots\dots (8)$$

dimana :
p = panjang (mm), *l* = lebar (mm), *t* = tebal (mm)
 dan *r* = jari-jari (mm).
 sehingga volume total
 $(V_{tot}) = V_I - (V_{II} + V_{III} + V_{IV})$

$$V_{tot} = 1.408.960,8 \text{ mm}^3$$

Maka massa *top plate*

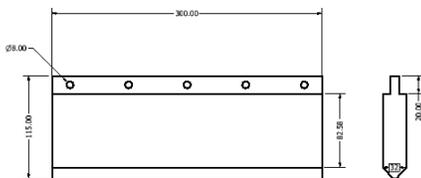
$$(W_{top plate}) = V \times \rho$$

$$= 11,408\text{kg}$$

b. *Punch*

Punch merupakan komponen yang berfungsi sebagai penekan sekaligus pembentuk lembaran

pelat pada saat proses bending terjadi. Material *punch* yaitu baja karbon dikeraskan hingga 55 HRC. Berikut ini gambar *punch* yang telah didesain:



Gambar 5 Desain *Punch*

Berdasarkan *dimensi* desain *punch*, maka berat *punch* dapat dihitung sebagai berikut:

volume persegi (V_I) = $p \times l \times t = 1.104.000 \text{ mm}^3$

volume lingkaran (V_{II}) = $\pi r^2 t = 4.823 \text{ mm}^3$

volume persegi $V_{III} = p \times l \times t = 792.768 \text{ mm}^3$

volume segitiga $V_{IV} = L_a \times t = 59.616 \text{ mm}^3$

sehingga volume total

$(V_{tot}) = V_I - V_{II} + V_{III} + V_{IV}$

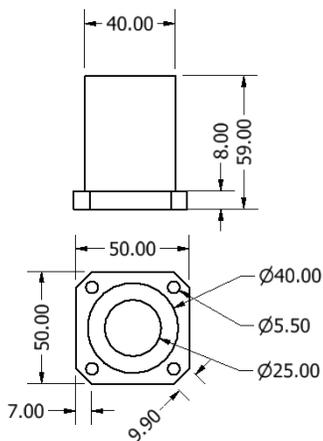
= $1.951.560,96 \text{ mm}^3$.

Maka *massa punch*

$(W_{punch}) = 15,339 \text{ kg}$.

c. *Bearing*

Dalam desain *bearing* yang digunakan adalah *bearing* standar dan tersedia dipasaran. *Bearing* ini berfungsi sebagai *busing* agar tidak terjadi gesekan antara *top pelat* dan *guide post*:

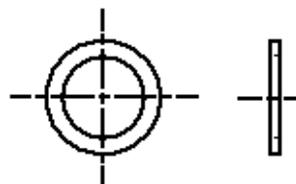


Gambar 6 *Bearing*

Untuk massa jenis bahan *stainless steel* adalah 7480 kg/m^3 , maka beban *bearing*

$(W_{bearing}) = 2,3770324 \text{ kg}$.

d. *Ring*



Gambar 7 *Ring*

Diameter luar *ring* 40 mm, diameter dalam 30mm, maka untuk massa jenis bahan kuningan adalah 8400 kg/m^3 atau $0.0000084 \text{ kg/mm}^3$ maka

$W_{ring} = 0.046 \text{ kg}$.

e. *Total beban yang diterima pegas*

Dari perhitungan beban komponen-komponen tersebut diatas maka total beban yang diterima oleh pegas adalah:

$W_{total} = W_{top plate} + W_{punch} + W_{bearing} + W_{ring}$
 = $29,170 \text{ kg}$

2. Kekuatan beban oleh pegas

Agar pegas yang dipilih dapat mengembalikan pelat atas (*top plate*), *punch*, ring dan *bearing* pada posisi semula setelah pembebanan proses *bending* berakhir, maka diperlukan perhitungan kekuatan pegas yang akan digunakan. Adapun parameter-parameter pegas yang dipilih dalam desain yaitu: diameter pegas (D) = 40 mm, diameter kawat (d) = 5 mm dan modulus geser (G) = $83 \times 10^3 \text{ N/mm}$. Maka pada perhitungan persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut [12 & 13]:

$W = \frac{\delta \cdot G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n}$ (9)

- W = beban aksial dari pegas (kg)
- δ = defleksi pegas (mm)
- G = modulus kekakuan (N/mm)
- d = diameter kawat (mm)
- D = diameter pegas (mm)
- n = jumlah koil aktif



Gambar 8 Pegas

Berdasarkan gambar di atas, maka dalam menentukan besar beban aksial dari pegas dapat dihitung seperti berikut ini:

$$W = \frac{\delta \cdot G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n} = \frac{(L_o - L_i) \cdot G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n}$$

$$W = \frac{(110 - 100) \cdot 83 \times 10^3 \cdot 5^4}{8 \cdot 40^3 \cdot 2}$$

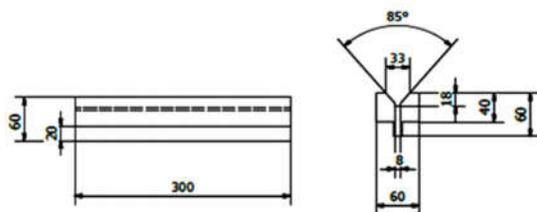
$$= 506,592 \text{ N}$$

Dari hasil perhitungan teoritis di atas diperoleh besar beban aksial dari kedua pegas yang digunakan sama dengan 506,592 N.

Sehingga berdasarkan hasil perhitungan total beban komponen *die set* yang diterima oleh pegas (W_{tot}) sebesar 29,17 kg atau 263,820 N maka pegas yang digunakan aman karena beban pegas (506,592 N) > total beban yang diterima pegas (263,820 N).

Desain Die Tipe Air Bending

Gambar 9 berikut ini memperlihatkan final desain *Die Tipe Air Bending*. *Die* terbuat dari baja karbon tinggi dikeraskan hingga 55 HRC. Sedangkan ukurannya 300 mm x 60 mm x 60 mm dan sudut *die* = 85°.



Gambar 9 Desain Die Tipe Air Bending

Setelah final desain press tool selesai maka tahap selanjutnya yaitu membuat press tool berupa satu unit *die set* yang dilengkapi dengan masing-masing satu buah punch dan die. Sudut punch = 85°, radius punch = 1,5 mm, sudut die (tipe air bending) =

85° dan panjang punch/die (garis bending) = 30 mm. Press tool ini mampu membending komponen produk dari berbagai jenis lembaran material dari logam secara presisi. Adapun press tool hasil rancang bangun dapat dilihat pada gambar 9 berikut ini:



Gambar 10 Hasil Rancang Bangun Press Tool Air Bending V Brake

Hasil Pengujian Press Tool Air Bending V Brake

Setelah tahap proses perakitan selesai, dilakukan uji fungsi dari *press tool*. Sudut *die-V air bending* yang dipakai sama dengan 85°. Pada proses pengujian alat *bending* ini sudut yang ingin dicapai yaitu 90°. Langkah penekanan diberikan sampai benda kerja rapat pada permukaan *die* sampai terbentuk sudut *bending* (α) sebesar 85° (*before unloading*). Sistem pengujian *press tool* dapat dilihat pada gambar 11 berikut.



Gambar 11 Press Tool terpasang pada Universal Testing Machine (UTM)

Gambar 12 berikut ini menunjukkan hasil proses *bending* pelat menggunakan *press tool* yang terpasang pada mesin UTM. Material benda kerja yaitu baja karbon St.37 dengan dimensi 300 mm x 60 mm x 3 mm.



Gambar 12 Produk hasil uji coba

Setelah proses *bending* selesai maka sudut *bending* (α) after unloading benda kerja diukur menggunakan alat ukur busur bilah kecermatan 5 menit. Adapun hasil pengukuran tersebut dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1 Data Sudut Bending Benda Kerja Yang Dibentuk Pada Press Tool.

No	Beban (N)	Sudut Bending			Springback	
		(°)	(")	(°)	(°)	(°)
1	395	90	15	90,25	5,25	
2	349	90	25	90,42	5,42	
3	345	90	30	90,5	5,5	
4	349	91	0	91	6	
5	342	89	30	89,5	4,5	
6	342	91	0	91	6	
7	349	90	45	90,75	5,75	
8	355	90	0	90	5	
9	343	90	5	90,08	5,08	
10	345	90	15	90,15	5,15	

Berdasarkan tabel 1 di atas menunjukkan bahwa sudut *bending* hasil penekukan *press tool* dengan *die-V* tipe *air bending* 85° diperoleh *springback* yang terjadi antara 4,50° s.d 6,00°, sehingga sudut *bending* yang terbentuk antara 89,50° s.d 91,00°. Dengan demikian penyimpangan sudut yang terjadi antara -0,5° s.d 1,00°. *Springback* yang menghasilkan sudut *bending* tepat 90° diperoleh pada hasil *bending* nomor 8 sebesar 5,00°. Sedangkan *springback* yang paling besar sama dengan 6° sehingga sudut *bending* yang terbentuk sama dengan 91° terletak pada proses *bending* nomor 4 dan 6. Hasil proses *bending* yang diperoleh ditinjau dari segi

springback dan sudut *bending* yang terbentuk menunjukkan bahwa hasil proses *bending* memiliki kualitas yang baik dan dapat pakai pada konstruksi permesinan umum yang terdapat pada bengkel fabrikasi permesinan dan pengelasan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil rancang bangun *press tool* dengan *die-V* tipe *air bending* dapat berfungsi sebagai alat bantu produksi untuk proses *bending* pelat logam pada pekerjaan konstruksi umum.
2. Spesifikasi *press tool* yang diciptakan yaitu: *Die-V* tipe *air bending*, sudut *punch* sama dengan 85°, radius *punch* sama dengan 1.5 mm, panjang *punch* sama dengan 300 mm, sudut *die* sama dengan 85°, lebar bukaan *die* sama dengan 33 mm, jarak langkah bebas sama dengan 19 mm.
3. Hasil uji coba *press tool* dalam menekuk material pelat baja St.37, dengan menggunakan langkah *punch* maksimum 19 mm diperoleh sudut *bending* pelat yang terbentuk sama dengan 89,50° s.d 91,00°.

Adapun saran untuk pengembangan penelitian ini:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk material yang lainnya seperti baja karbon sedang, baja karbon tinggi, stainless steel dan lain-lain.
2. Perlu dilakukan pengembangan penelitian terhadap parameter *punch* dan *die* untuk mendapatkan kualitas hasil proses *bending* yang lebih optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Melalui artikel jurnal ini penulis dengan tulus mengucapkan terima kasih kepada: 1). Kemenristekdikti atas dana desentralisasi program penelitian dan pengabdian masyarakat tahun 2019 yang telah diberikan. 2). Direktur dan Ketua UPPM Politeknik Negeri Ujung Pandang yang memberikan kesempatan untuk mengikuti program Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi ini. 3) Semua pihak yang terlibat dalam penelitian ini.

Semoga hasil penelitian ini dapat memenuhi tujuan yang diharapkan dan dirasakan manfaatnya oleh masyarakat, khususnya bagi industri yang banyak melakukan proses pabrikan untuk pembentukan logam (*metal forming*) khususnya proses *bending*. Akhirnya kepada Allah-lah kami serahkan semuanya, semoga segala aktivitas kita dinilai-Nya sebagai ibadah dan mendapatkan amal jariah dari-Nya. Amin !!!

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suyuti MA, Iswar M, Nur R. Effect of Punch Parameters on Springback for Mild Carbon Steel in A V-Shape Bending Process. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2019 Jun (Vol. 541, No. 1, p. 012015). IOP Publishing.
- [2] Suyuti MA. Rancang Bangun Prototipe Alat Metal Forming Sirip Roda Besi Traktor Tangan. Jurnal Sinergi Jurusan Teknik Mesin. 2019 May 25;13(1):62-74.
- [3] Suyuti MA, Nur R. The Influence of Punch Angle on the Spring Back during V-Bending of Medium Carbon Steel. In Advanced Materials Research 2015 (Vol. 1125, pp. 157-160). Trans Tech Publications.
- [4] Suyuti MA, Nur R, Iswar M. Springback Hasil Proses Tekuk Bentuk "V" Pelat Baja Karbon St. 60. Ketebalan 4 mm. In Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M) 2018 Dec 30
- [5] Gautama P, Ka'ka S, Suyuti MA, Susanto TA. Desain Prototipe Alat Press Tool untuk Pembuatan O-Ring Sistem Pneumatik. Jurnal Sinergi Jurusan Teknik Mesin. 2019 May 25;12(2):114-23.
- [6] Suyuti MA. Rancang Bangun Sempel Press Tool untuk Bending V Bottoming. Jurnal Sinergi Jurusan Teknik Mesin. 2019 May 26;13(2):160-73.
- [7] Gupta TR, Payal HS. Effect of Die and Punch Geometry on Spring Back in Air Bending of Electro Galvanized CR4 Steel. International Journal of Applied Engineering Research. 2017;12(11):2792-7.
- [8] Suyuti MA, Nur R, Iswar M. Perancangan Alat Proses Tekuk (Teori Dan Aplikasi). Deepublish; 2019 Oct 1.
- [9] Kazan R, Firat M, Tiryaki AE. Prediction of springback in wipe-bending process of sheet metal using neural network. Materials & design. 2009 Feb 1;30(2):418-23.
- [10] Kumar A, Viswanath P, Mahesh K, Swati M, Kumar PM, Abhijit A, Singh S. Prediction of springback in V-bending and design of dies using finite element simulation. International Journal of Materials and Product Technology. 2010 Jan 1;39(3-4):291-301.
- [11] Buang MS, Abdullah SA, Saedon J. Effect of die and punch radius on springback of stainless steel sheet metal in the air v-die bending process. Journal of Mechanical Engineering and Sciences. 2015 Jun;8:1322-31
- [12] Nur R, Suyuti MA. Perancangan mesin-mesin industri. Deepublish; 2018 Jan 16.
- [13] Dahlan D. Elemen mesin. Jakarta: Harta Prima. 2012.