

## Modifikasi Desain Konstruksi Alat Bending V Dengan Sistem Hidro Pneumatik

Rusdi Nur<sup>1,2</sup>, Muhammad Arsyad Suyuti<sup>3</sup>, Arial<sup>4</sup>, Farid Hidayat Arfa<sup>5</sup>, dan  
Andi Fadel Ahmad<sup>6</sup>

<sup>1,3,4,5,6</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia

<sup>2</sup>Center of Materials and Manufacturing, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia

[\\*muhammadarsyadsuyuti@poliupg.ac.id](mailto:muhammadarsyadsuyuti@poliupg.ac.id)

**Abstract:** Many forms of technological development aim to answer the need for human work efficiency, so an effective technology development effort is very necessary. As the times progress, of course, there are many changes, especially in science and technology, which may have shifted completely in the industrial area, meaning that in this change it is necessary to require extra operations, namely human labor replaced by machine power. One of them is a plate bending machine or what is called a bending machine. The purpose of this program according to the formulation of the problem above is to maximize the drive system and bending system so that the bent plates form a 90° angle. This research includes several things such as sketching or drawing of bending tools to be modified, as for what we modified, namely the replacement of the top and a larger bottom plate so that the pressing system functions properly, as well as the replacement on the spring so that it matches the load received by the spring. After determining the form of the construction design of the plate bending tool, then determine the concept of each main component of the plate bending tool in order to get maximum and good bending results. The data from the test results of this portable bending tool were tested with different plate thicknesses, namely 2 mm, 3 mm and 4 mm plates. Tests were performed on each thickness using the maximum bending line. Based on the tests carried out using this bending tool that the drive system works optimally and the bending system works properly and the maximum bending on a plate with a thickness of 4mm can be bending at the right angle of 90° is said to work optimally.

**Keywords :** Bending Tools, Hydro Pneumatics, Plates

**Abstrak:** Banyak bentuk pengembangan teknologi yang bertujuan menjawab kebutuhan akan efisiensi kerja manusia, maka suatu upaya pengembangan teknologi yang efektif sangat diperlukan. Seiring kemajuan zaman yang semakin berkembang tentunya banyak sekali perubahan-perubahan terutama pada IPTEK yang mungkin telah menggeser secara total pada wilayah perindustrian, artinya dalam perubahan ini perlu membutuhkan operasional ekstra yaitu tenaga manusia digantikan oleh tenaga mesin. Salah satunya adalah mesin penekuk plat atau yang disebut mesin bending. Tujuan penelitian adalah untuk memaksimalkan sistem penggerak dan sistem penekuk sehingga pelat yang ditekuk membentuk sudut 90°. Penelitian ini mencakup beberapa hal seperti pembuatan sketsa atau gambar alat bending yang akan dimodifikasi, Adapun modifikasi yang dilakukan adalah penggantian pada top serta bottom plate yang lebih besar agar sistem penekan berfungsi dengan baik, serta penggantian pada pegas sehingga sesuai dengan beban yang diterima pegas. Setelah menentukan bentuk rancangan konstruksi Alat Bending plat tersebut maka kemudian menentukan konsep tiap komponen utama alat bending pelat guna mendapatkan hasil tekukan yang maksimal dan baik. Data hasil pengujian alat bending portabel ini dilakukan pengujian dengan ketebalan pelat yang berbeda-beda yaitu pelat 2 mm, 3 mm dan 4 mm. Pengujian dilakukan pada masing-masing ketebalan dengan menggunakan garis bending maksimum. Berdasarkan pengujian yang dilakukan menggunakan alat bending ini bahwa sistem penggerak bekerja dengan maksimal maupun sistem penekuk berfungsi dengan baik dan maksimal bending pada plat dengan tebal 4mm dapat ditekuk dengan sudut yang tepat yaitu 90° dikatakan bekerja dengan maksimal.

**Kata Kunci :** Alat Bending, Hidro Pneumatik, Pelat

### I. PENDAHULUAN

Banyak bentuk pengembangan teknologi yang bertujuan menjawab kebutuhan akan efisiensi kerja manusia, maka suatu upaya pengembangan teknologi yang efektif sangat diperlukan. Seiring kemajuan zaman yang semakin berkembang tentunya banyak sekali perubahan-perubahan terutama pada IPTEK yang mungkin telah menggeser secara total pada wilayah perindustrian, artinya dalam perubahan ini perlu membutuhkan operasional ekstra yaitu tenaga manusia digantikan oleh tenaga mesin. Salah satunya adalah mesin penekuk pelat atau yang disebut mesin *bending*. Mesin penekuk pelat adalah pengerjaan membentuk logam lembaran (pelat) sehingga sesuai dengan bentuk dan

ukuran yang sudah direncanakan. Pengerjaan plat dapat dilakukan dengan menggunakan keterampilan mesin, dengan proses tekuk *bending* [1].

Di Indonesia, proses bending masih banyak ditemukan di bengkel-bengkel produksi sederhana yang menggunakan cara manual yaitu menggunakan palu dan landasan besi. Namun beberapa bengkel produksi lainnya telah menggunakan mesin penekuk platnya dengan sistem hidrolik namun masih menggunakan tenaga manusia untuk menggerakkannya. Kedua hal tersebut dirasa belum efisien dari segi waktu dan tenaga. Sehingga telah dibuat alat tekuk plat dengan sistem tenaga hidrolik dengan menggunakan pneumatik sebagai penggerak hidrolik. Dari hasil pengamatan alat tersebut masih terdapat beberapa kekurangan yang memerlukan perbaikan melalui dimodifikasi [2]. Kekurangan-kekurangan tersebut antara lain sub sistem penekuk belum mampu menekuk benda kerja dengan ukuran panjang 300 mm, lebar 60 mm dan tebal 4 mm dengan sudut  $90^\circ$  serta pegas tarik tidak mampu menarik sub sistem penekuk kembali keposisi semula. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka dapat diatasi dengan mengembangkan semua sistem penekuk dan penggerak sehingga dapat menghasilkan hasil tekuk yang diinginkan. Adapun tujuan yang dicapai adalah untuk memaksimalkan sistem penggerak dan sistem penekuk sehingga dapat menekuk pelat dengan sudut  $90^\circ$ .

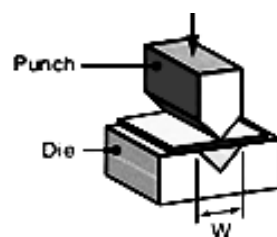
## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Proses Bending Pelat

*Bending* adalah penekukan atau pembengkokan pada suatu alat/material. Proses bending pada lembaran logam atau pelat (*sheet metal forming*) adalah proses penekanan pelat datar sampai tahap deformasi plastis pelat, hingga akhirnya menjadi komponen baru yang sesuai dengan permukaan [3] [4].

Mengingat alat *bending* dapat digunakan untuk berbagai macam tujuan sesuai dengan bentuknya, maka komponen-komponen yang dimiliki alat *bending* pelat dapat berbeda sehingga komponen yang ada pada suatu alat *bending* pelat belum tentu ditemukan pada alat *bending* pelat yang lain tergantung pada kegunaannya. Menurut Dullah dkk, komponen alat *bending* pelat manual terdiri dari: punch, pegas, pelat landasan, pressure (pelat penekan), dies, shank (tangkai pemegang), holder plate (pelat pemegang punch) [2].

Prinsip kerja alat *bending* pelat dengan sistem hidro *Pneumatik* ini yaitu menggunakan sistem hidrolik sebagai tenaga penekannya dan *pneumatik* sebagai penggerak utama pada hidrolik dalam proses pembengkokan pelat untuk membentuk atau menekuk pelat. Pelat yang akan *dibending* diukur dengan ukuran panjang 300 mm dan lebar 100 mm yang diletakan pada landasan *die*. Ketika tuas dongkrak hidrolik dipompa oleh pneumatic sehingga mengakibatkan *punch* turun kebawah sampai menekan pelat sehingga pelat tersebut membengkok. Saat *valve* kontrol yang ada pada dongkrak hidrolik dilonggarkan sehingga mengurangi tekan pada *punch*, maka pegas akan mengembalikan *punch* pada posisi awalnya. Selain itu, ditambahkan juga sistem otomasi. Sistem otomasi dapat didefinisikan sebagai suatu teknologi yang berkaitan dengan aplikasi mekanik, elektronik dan sistem yang berbasis komputer (komputer, PLC atau mikro). Semuanya bergabung menjadi satu untuk memberikan fungsi terhadap manipulator (mekanik) sehingga akan memiliki fungsi tertentu [5]. Adapun gaya bending pelat dapat dihitung dengan memperhatikan skematik pemberian gaya dalam gambar berikut:



Gambar 1. V-die [6]

Adapun persamaan gaya bending yang digunakan adalah [7]:

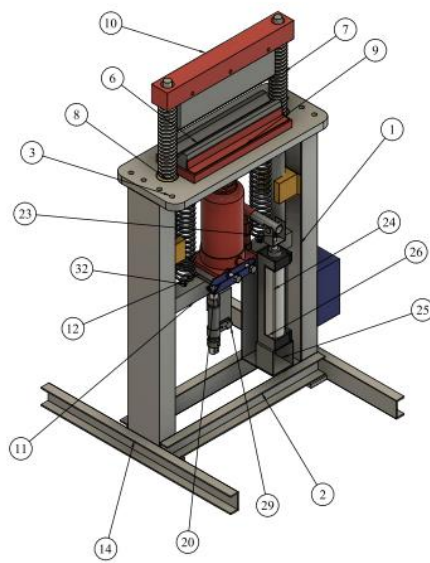
$$P = \frac{(UTS)LT^2}{W}$$

Dimana : P = Gaya bending (N), T = tebal pelat (mm), L = panjang garis bending (mm), W = jarak bukaan die (mm), dan UTS = material pelat.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Perancangan dan Pembuatan

Adapun rancangan konstruksi Alat Bending V adalah sebagai berikut:



Keterangan:

- |                      |                                       |
|----------------------|---------------------------------------|
| 1. Tiang Utama       | 19. Pneumatik                         |
| 2. Pelat U 50        | 20. Mur M8                            |
| 3. Meja              | 21. Stik Penghubung                   |
| 4. Dudukan Die       | 21. Pin                               |
| 5. Pilar             | 23. Penghubung Pneumatik Dongkrak     |
| 6. Die               | 24. Pneumatik                         |
| 7. Pegas             | 24. Dudukan Pneumatik                 |
| 8. Penahan Die       | 25. Pneumatik Holder                  |
| 9. Top Plate         | 26. Dudukan Pneumatik                 |
| 11. Button Plate     | 27. PVC                               |
| 12. Dudukan Dongkrak | 28. Baut M10                          |
| 13. Bearing          | 29. Mur 10                            |
| 14. Pelat U          | 30. Penghubung Dongkrak Penahan Pegas |
| 15. Punch            | 32. Mur M5                            |
| 16. Kotak Elektrik   | 33. Pegas Tarik                       |
| 17. Dongkrak         | 32. Mur M5                            |
| 18. Dudukan Pegas    |                                       |

Gambar 2. Hasil Perancangan Alat Bending V

#### B. Hasil Perhitungan Rancang Bangun

Gaya bending V pelat yang dibengkokkan dapat menggunakan persamaan berikut:

$$F = \frac{2 \cdot b \cdot s^2 \cdot \sigma_b}{3 \cdot I} = \frac{0,7 \cdot b \cdot s^2 \cdot \sigma_b}{I} \text{ ( N )}$$

Dimana: bahan uji adalah St 42, I = 60 mm, s = 2 mm, b = 300 mm, maka dapat dihitung gaya pada pelat yang dibengkokkan adalah:

$$\begin{aligned} \sigma_t &= \text{St.42} = 420 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_b &= 0,8 \sigma_t = 0,8 \times 420 = 336 \text{ N/mm}^2 \\ F &= \frac{0,7 \times 300 \text{ mm} \times 2^2 \text{ mm}^2 \times 336 \text{ N/mm}^2}{60 \text{ mm}} \\ &= \frac{282.240}{60} = 4.704 \text{ N} \end{aligned}$$

Untuk menentukan massa setiap komponen, maka digunakan persamaan:

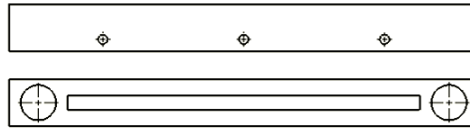
$$W = V \times \rho$$

Dimana: ρ (massa jenis baja karbon setengah keras) = 7860 Kg/m<sup>3</sup> = 0.00000786 kg/mm<sup>3</sup>.

Untuk mengetahui beban total pegas maka beberapa komponen yang perlu diketahui massanya dengan perhitungan sebagai berikut:

- **Massa top plate**

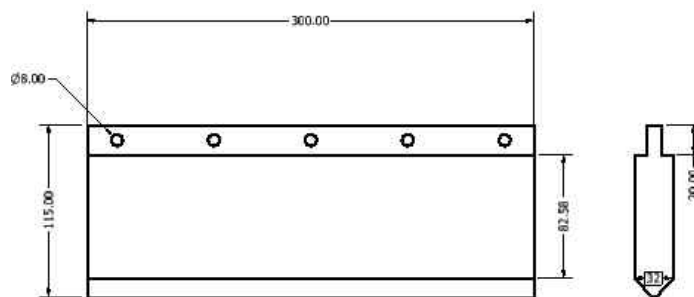
Berdasarkan Gambar 3, maka massa *top plate* dapat dihitung dengan volume bidang persegi ( $V_I = p \times l \times t$ ) dikurang volume lubang baut ( $V_{II} = \pi r^2 t$ ), volume lubang poros ( $V_{III} = \pi r^2 t$ ) dan volume alur ( $V_{IV} = p \times l \times t$ ). Sehingga volume total ( $V_{total} = V_I - V_{II} - V_{III} - V_{IV} = 1.021.851 \text{ mm}^3$ ). Maka massa *top plate* ( $W$ ) = 8,031 kg.



Gambar 3. *Top plate*

- **Massa Punch**

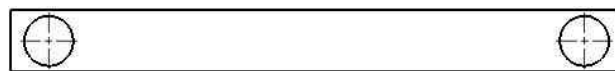
Berdasarkan dimensi pada gambar di atas, maka volume *punch* dapat dihitung dengan mengurangi volume pada persegi punch ( $V_I = p \times l \times t = 72.000 \text{ mm}^3$ ) dengan volume sejumlah lingkaran lubang ( $V_{II} = \pi r^2 t = 1.808,64 \text{ mm}^3$ ), ditambah volume persegi ( $V_{III} = p \times l \times t = 792.768 \text{ mm}^3$ ) dan volume segitiga ( $V_{IV} = L_a \times t = 59.616 \text{ mm}^3$ ). sehingga total volume punch adalah  $V_{total} = V_I - V_{II} + V_{III} + V_{IV} = 922.575,36 \text{ mm}^3$ . Maka besar massa *punch* ( $W$ ) = 7,252 kg.



Gambar 4. *Punch V*

- **Massa bottom plate**

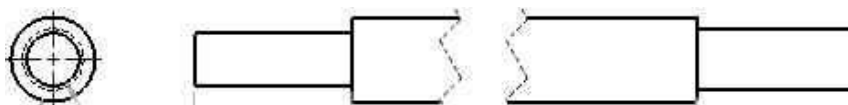
Berdasarkan gambar diatas, massa *botton plate* dapat dihitung dengan volume bidang persegi ( $V_I = p \times l \times t$ ) dikurang volume lubang Poros. Sehingga volume total ( $V_{total} = V_I - V_{II} = 1.009.880 \text{ mm}^3$ ). Maka massa *top plate* ( $W$ ) = 8,645 kg.



Gambar 5. *Bottom plate*

- **Massa pilar**

Berdasarkan gambar diatas, massa *pilar* dapat dihitung dengan volume bidang pejal besar ( $V_{II} = \pi r^2 t = 1426.035,2 \text{ mm}^3$ ) ditambah bidang pejal kecil ( $V_{II} = \pi r^2 t = 56.520 \text{ mm}^3$ ). Sehingga volume total ( $V_{total} = V_I + V_{II} = 402.555,2 \text{ mm}^3$ ). Karena bahan pilar adalah *stainless steel* Maka massa *pilar* ( $W$ ) = 7,219 kg.



Gambar 6. *Pilar*

- Massa pelat dudukan hidrolik  
Pelat dudukan hidrolik merupakan bidang persegi dengan volume bidang ( $V_1 = p \times l \times t$ ) = 225.000 mm<sup>3</sup>. Maka massa pelat dudukan hidrolik (W) = 1,769 kg.
- Massa hidrolik  
Pelat dudukan hidrolik merupakan bidang pejal dengan volume bidang ( $V = \pi r^2 t$ ) = 213.520 mm<sup>3</sup>. Maka massa pelat dudukan hidrolik (W) = 1.678 kg
- Massa fluida oli hidrolik  
Pelat dudukan hidrolik merupakan bidang pejal dengan volume bidang ( $V = \pi r^2 t$ ) = 706.500 mm<sup>3</sup>. Massa jenis dari oli adalah 0,000000088 kg/mm<sup>3</sup>, sehingga massa hidrolik(W) = 0,062 kg.

Dari perhitungan beban komponen-komponen tersebut, maka total beban yang diterima oleh pegas adalah W = 34,656 kg atau 346,56 N.

Jumlah lilitan pegas untuk menahan beban adalah 37. Diameter kawat pegas 5 mm dan diameter pegas 40 mm. Untuk menghitung beban pada pegas digunakan persamaan [8]:

$$W = \frac{\delta \times G \times d^4}{8 \times D^3 \times n}$$

Berdasarkan rumus diatas, maka untuk menentukan beban pegas dilakukan perhitungan beban yang mampu ditahan oleh pegas sebagai berikut:

$$W = \frac{140 \times 83 \times 10^3 \times 8^4}{8 \times 10^3 \times 42} = 141.653,3 \text{ N}$$

Karena alat *bending* plat menggunakan 2 pegas maka secara teoritis beban yang diterima pegas sebesar 70.826 N.

Untuk mengetahui kemampuan pegas tekan dalam mengembalikan beban *top plate* dan *punch* setelah melakukan proses penekukan digunakan persamaan sebagai berikut:

$$W = \frac{(110-100)83 \times 10^3 \times 8^4}{8 \times 10^3 \times 42} = 121,9 \text{ N}$$

Karena alat *bending* plat menggunakan 2 pegas maka secara teoritis beban yang diterima pegas sebesar 60,95 N. Jumlah beban yang dapat diterima pegas secara keseluruhan adalah jumlah beban yang dapat diterima pegas tarik (70.826 N) ditambah dengan beban yang dapat diterima pegas tekan (92,222 N) yaitu 859,202 N atau 85,92 kg.

Jadi secara teori berdasarkan hasil perhitungan total beban terbesar (28,228 Kg) yang diterima pegas, maka pegas tekan dan pegas tarik yang digunakan aman karena beban yang dapat diterima pegas yaitu lebih besar dari pada total beban komponen ( $W_{tot}$ ).

Dalam rancang bangun alat *bending* pelat ini harus mengetahui kapasitas maksimum beban yang diberikan kepada pelat yang akan ditekuk. Untuk menghitung kapasitas maksimum terlebih dahulu mengetahui kebutuhan gaya hidrolik yang digunakan. Untuk menghitung kebutuhan gaya hidrolik yang digunakan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$F_{total} = F_{bending} + W_{Pegas} - W_{Punch}$$

$$F_{total} = 9.324 \text{ N} + 859 \text{ N} - 72,52 \text{ N}$$

$$= 10.110,48 \text{ N} = 10,1 \text{ Ton}$$

Jadi, kebutuhan gaya hidrolik yang digunakan adalah 10,1 ton. Umumnya dipasaran gaya hidrolik yang tersedia 5, 10, 15, 20 dan 50 ton sehingga dipilihlah hidrolik dengan gaya hidrolik 20 ton agar aman saat menekuk pelat.

Untuk menghitung *spring back* pada saat proses tekuk yang terjadi dapat digunakan persamaan:

$$K_s = \frac{\alpha f}{\alpha i} = \frac{(2.R1/T) + 1}{(2.Rf / T) + 1}$$

Untuk pelat ketebalan 4 mm dengan radius *die* (Rf) adalah 2,5, dimana  $K_s = 0,5$

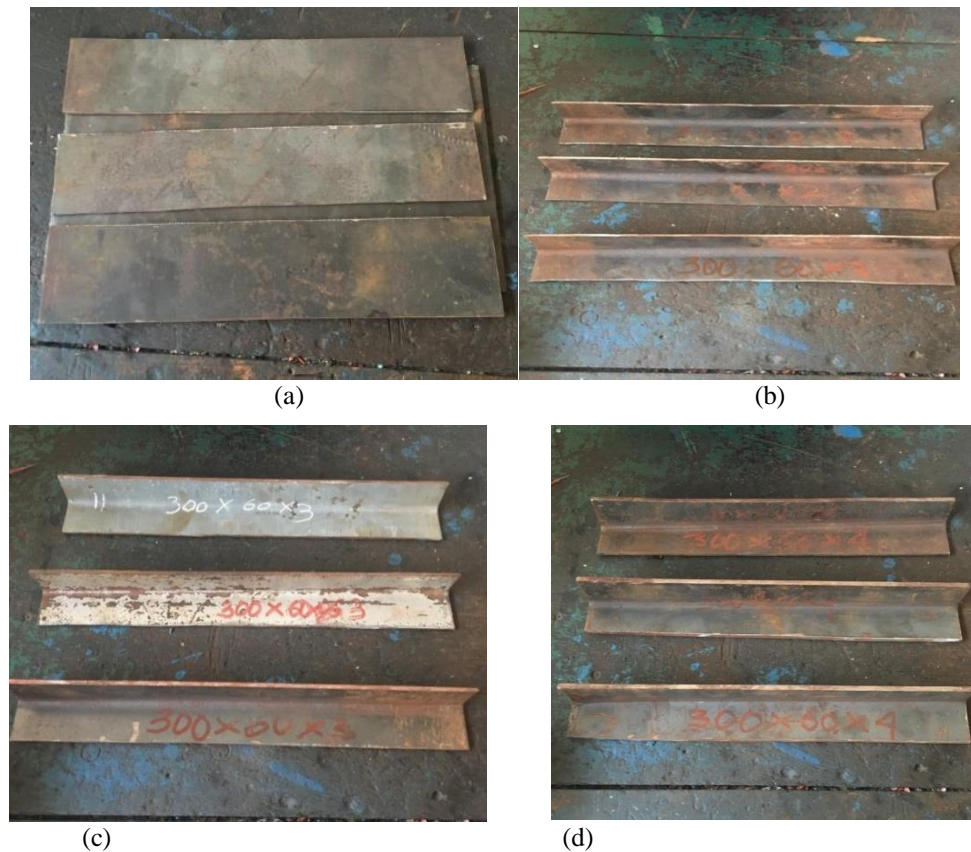
$$0,5 = \frac{4 \times 2,25}{2.Rf + 1}$$

$$2.Rf + 0,5 = 9$$

$$Rf = 9 - 1 = 8^{\circ}$$

**B. Data Hasil Pengujian Bending**

Data hasil pengujian alat *bending* portabel ini dilakukan pengujian dengan ketebalan pelat yang berbeda-beda yaitu pelat 2 mm, 3 mm dan 4 mm. Pengujian dilakukan pada masing-masing ketebalan dengan menggunakan garis *bending* maksimum. Dalam uji coba alat *bending* ini dilakukan *bending* berbentuk V dan radius adapun hasil uji coba bending tersebut dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 7. Sampel sebelum ditebuk (a), setelah ditebuk untuk tebal pelat 2 mm (b), 3 mm (c), dan 4 mm (d)

Tabel 1. Data Hasil Bending Sampel

No	Sampel	Ukuran (mm)	Sudut Bending (a)	Spring Back (°)	Waktu (menit)
1	T2(1)	300x100x2	92,1	7,1	41
	T2(2)	300x100x2	90,6	5,6	46
	T2(3)	300x100x2	91	6	43
	<b>Rerata</b>		<b>91,2°</b>	<b>6,2</b>	<b>43,3</b>
2	T3(1)	300x100x3	90,6	5,6	55
	T3(2)	300x100x3	91,4	6,4	55
	T3(3)	300x100x3	90,5	5,5	57
	<b>Rerata</b>		<b>90,8</b>	<b>5,5°</b>	<b>55,6</b>
3	T4(1)	300x100x4	90,3	5,3	65
	T4(2)	300x100x4	90,1	5,1	67
	T4(3)	300x100x4	90,7	5,7	64
	<b>Rerata</b>		<b>90,3</b>	<b>5,1</b>	<b>65,3</b>

**C. Pembahasan**

Adapun sudut bending yang dihasilkan setelah proses bending pada tebal 2mm dengan jumlah sampel 3 antara 90,6°-92,1° , dan rata-rata sudut bending sebesar 91,2°. Dimana dalam pengujian ini adanya sudut *bending* yang melewati suduti 90° paling besar berada pada sampel 1 dengan sudut 92,1°, yang mana hampir sama dengan alat sebelumnya yaitu 92,5°. Adapun *spring back* yang paling mendekati dengan dengan kualitas bagus adalah sampel nomor 2 dengan *springback* 5,6° dengan jumlah sudut *bending* 90,6°. dan proses pembendingan waktu yang diperlukan antara 41' -46' dengan rata-rata waktu bending 63,3'. Adapun sudut bending yang dihasilkan setelah proses bending pada tebal 3mm dengan jumlah sampel 3 antara 90,5°-91,4° , dan rata-rata sudut bending sebesar 90,3°.Dimana dalam pengujian ini adanya sudut *bending* yang melewati sudut 90° paling besar berada pada sampel 2 dengan sudut 91,4°sedangkan pada alat sebelumnya 92°. Adapun *spring back* yang paling mendekati dengan dengan kualitas bagus adalah sampel nomor 3 dengan *springback* 5,5° dengan jumlah sudut *bending* 90,5°, sedangkan pada alat sebelumnya *springback* 4,5° dengan jumlah sudut 89,5° sehingga yang paling mendekati target sudut adalah alat bending ini. dan proses pembendingan waktu yang diperlukan antara 55' -57' dengan rata-rata waktu bending 55,6'.

Adapun sudut bending yang dihasilkan setelah proses bending pada tebal 4mm dengan jumlah sampel 3 antara 90,1°-90,7° , dan rata-rata sudut bending sebesar 90,8°.Dimana dalam pengujian ini adanya sudut *bending* yang melewati suduti 90° paling besar berada pada sampel 3 dengan sudut 90,7°. Adapun *spring back* yang paling mendekati dengan dengan kualitas bagus adalah sampel nomor 2 dengan *springback* 5,1° dengan jumlah sudut *bending* 90,1°. dan proses pembendingan waktu yang diperlukan antara 64' -67' dengan rata-rata waktu bending 65,3'. Kemudian pada alat sebelumnya tidak dapat melakukan bending dengan tebal 4mm seperti yang disebutkan diatas. Hasil penelitian ini juga sesuai dengan hasil penelitian yg telah dilakukan sebelumnya [2], [8]–[10].

Sebagai tambahan dalam perhitungan kekuatan, juga dibuat perhitungan biaya pembuatan alat bending yang ditampilkan dalam tabel 2.

Tabel 2. Biaya total pengerjaan

No	Item Pembiayaan	Besaran
1	Biaya bahan langsung	Rp 2.838.000
2	Biaya tenaga kerja	Rp 2.888.756
3	Biaya tidak langsung	Rp 3.762.410,79
Total		Rp 9.489.166,79

**IV. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil perancangan dan pembuatan mesin bending sistem hidro pneumatic, maka dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu :

1. Pengujian yang dilakukan dengan menggunakan alat bending ini dapat dikatakan bahwa sistem penggerak bekerja dengan maksimal maupun sistem penekuk berfungsi dengan baik dan maksimal bending pada plat dengan tebal 4mm bisa dibending dengan sudut rata-rata mendekati 90°. Dikatakan bekerja dengan maksimal yaitu setelah proses modifikasi yang mana sistem penggerak mampu melakukan bending seperti yang disebutkan diatas dengan modifikasi pneumatic dengan spesifikasi 80 x 150 mm dimana pada alat sebelumnya menggunakan sistem penggerak pneumatik 40 x 150 mm yang tidak bisa melakukan bending dengan ketebalan dan sudut yang tepat, dan sistem penekuk.
2. Adapun pada alat sebelumnya pada tebal 2 mm rata-rata sudut yang dihasilkan hampir sama, dengan penyimpangan sudut terbesar yaitu 92,5° sedangkan pada alat bending ini pada yaitu 92,1°, sedangkan pada tebal 3 mm alat bending ini yang paling mendekati 90° pada sampel 3 yaitu 90,5° sedangkan pada alat sebelumnya yaitu 89,5°, nilai ini yang paling mendekati target sudut adalah hasil sudut pada alat bending ini, yang mana penyimpangan sudutnya lebih kecil dan juga *springback* lebih kecil kemudian, pada tebal 4 mm alat ini bisa melakukan bending dengan

ketebalan tersebut walaupun waktu bending lebih lama tapi rata-rata sudut yang didapatkan mendekati 90°.

## V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Gattmah, F. Ozturk, and S. Orhan, "Numerical simulation of bending process for steel plate using finite element analysis," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 44, pp. 10285–10292, 2019.
- [2] M. J. Dullah, M. A. Suyuti, M. Sudarman, M. Mariam, and M. A. Arham, "Desain dan analisis alat bending v sistem hidro pneumatik," *J. Tek. Mesin Sinergi*, vol. 17, no. 2, pp. 168–178, 2020.
- [3] M. Math and B. Grizelj, "Finite element approach in the plate bending process," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 125, pp. 778–784, 2002.
- [4] S. K. Ghosh, "Handbook of metal forming," *J. Mech. Work. Technol.*, 1988.
- [5] A. Pambudi, "Sistem Otomasi." 2006.
- [6] S. Kalpakjian and S. R. Schmid, "Manufacturing Engineering," *Technol. Prentice Hall London, UK*, pp. 568–571, 2009.
- [7] I. Suchy, *Handbook of die design*. McGraw-Hill Education, 2006.
- [8] M. A. Suyuti, M. Iswar, R. Nur, and E. Erniyanti, "Desain Konstruksi Press Tool Sebagai Alat Bending Bentuk V Dengan Garis Bending Max. 300mm," *J. Sinergi Jur. Tek. Mesin*, 2019.
- [9] R. Nur, M. A. Suyuti, M. R. B, and M. Misbahuddin, "Pengaruh Sudut Punch dan Ketebalan Pelat terhadap Springback pada Bending V," *J. Sinergi Jur. Tek. Mesin*, 2019.
- [10] M. A. Suyuti, "Rancang Bangun Sempel Press Tool untuk Bending V Bottoming," *J. Tek. Mesin SINERGI*, vol. 13, no. 2, pp. 160–173, 2019.