

DESAIN DAN PENGEMBANGAN MESIN MICRO-PRESS PEMBENTUK KOMPONEN MIKRO

Asep Indra Komara

Tenaga Pengajar (Dosen)
Politeknik Manufaktur Bandung
Jurusan Teknik Perancangan Manufaktur
asep.indra@polman-bandung.ac.id

Aida Mahmudah

Tenaga Pengajar (Dosen)
Politeknik Manufaktur Bandung
Jurusan Teknik Perancangan Manufaktur
aida@polman-bandung.ac.id

Adinda Sri Lestari

Tenaga Pengajar (Pranata Lab
Pendidikan)
Politeknik Manufaktur Bandung
Jurusan Teknik Perancangan Manufaktur
adinda@polman-bandung.ac.id

Johanes C. J. Hasibuan

Mahasiswa
Politeknik Manufaktur Bandung
johaneshasibuan08@gmail.com

The increasing application of micro electro mechanical systems technology on daily life devices increases the need for micro components. Furthermore, it must be supported by reliable fabrication technology to produce micro-sized products. One of these technologies is micro-sheet metal forming, which is a forming technology from sheet metal with 10-300 μ m thickness. The development of this technology requires a special press machine that is used in the scope of micro-scale work, named micro-press. Micro-press is still rare due to it was used for individual experiment purposes. Thus, it is necessary to develop the micro-press to support research and manufacturing of micro-part. In this study, the design of a micro-press is intended to accommodate the miniaturization problems and to be easy in fabrication and re-fabrication. Then, the micro-press will contribute to fulfill the micro-parts need. By using the VDI 2222 design method, the design of a 5kN micro-press machine with a servo motor drive is obtained, and validation of construction strength was carried out with the help of the appropriate CAE software. The results of the design validation show that the construction of the micro-press machine is quite strong. The selected component has a strength specification that is greater than required, and the maximum stress that occurs in the frame, which is 80.096 N/mm², is still very lower than the allowable stress on the SPHC material. The magnitude of the resultant displacement shows a fairly small value, i.e. 0.178 mm.

Keywords: Micro-Component, Micro-Sheet Metal Forming, Micro-Press

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri manufaktur terus berubah hingga menunjukkan semakin meningkatnya kecenderungan kebutuhan akan teknologi MEMS (*Micro Electro Mechanical Systems*), yaitu struktur peralatan elektro-mekanik yang terdiri dari sensor mikro, aktuator mikro dan peraga pendukung lainnya di dalam ukuran yang sangat kecil. Dengan teknologi MEMS perangkat yang digunakan dalam keseharian akan menjadi lebih kecil dan ringkas, namun tidak mengurangi fungsi utama dari perangkat tersebut. Miniaturisasi ini banyak digemari oleh pengguna hampir di semua tingkatan, sehingga meningkatkan kebutuhan akan produk-produk berskala kecil [1 – 4]. Ditinjau dari hal tersebut, miniaturisasi merupakan kunci generasi masa depan manufaktur, karena sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang mendorong terciptanya suatu produk baru dengan ukuran yang kecil namun memiliki integrasi fungsi yang sangat baik [2, 5].

Untuk menghasilkan produk pada skala mikro, dibutuhkan teknologi mikro-fabrikasi yang memadai dan mampu menjawab tantangan pada lingkup permasalahan miniaturisasi [6]. Teknologi ini dapat memenuhi permintaan terhadap produk atau komponen berukuran mikro di berbagai sektor industri termasuk elektronik, medis, optik, bioteknologi, dan otomotif [7].

Salah satu teknologi mikro-fabrikasi adalah teknologi *micro-sheet metal forming*, yaitu teknologi pembentukan komponen mikro dari material logam lembaran (ketebalan 10 – 300 μ m). Proses pembentukan pada skala mikro akan membutuhkan mesin dan alat dengan spesifikasi ketelitian dan karakteristik proses yang khusus dalam kisaran mikro. Mesin penekan yang dikhususkan untuk proses pembentukan material lembaran skala mikro ini kemudian disebut dengan mesin *micro-press*. Mesin tersebut belum tersedia di pasaran,

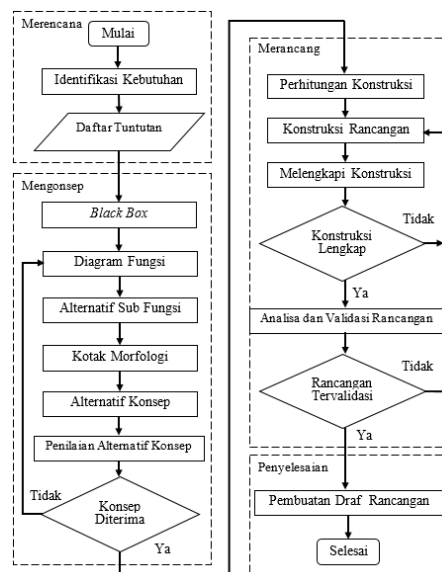
sehingga pengembangan *micro-press* menjadi langkah awal yang harus dilakukan dalam pengembangan teknologi *micro sheet metal forming* secara keseluruhan. Mesin *micro-press* pada dasarnya memiliki kemiripan dengan mesin *press* pada umumnya. Berbagai pengembangan mesin *press* telah dilakukan oleh peneliti diantaranya yaitu oleh Rani, *et al.* [8] yang merancang dan mengoptimasi mesin *press* hidraulik tipe H kapasitas 2000 kN, dan Chauhan, *et al.* [9] merancang dan menganalisis rangka mesin *press* 630 kN tipe C menggunakan FEM untuk mendapatkan desain yang ekonomis dan area alat penekan tidak terhalang. Kamate dan Bagi [10] serta Syaukani, *et al.* [11] merancang dan mengembangkan mesin *press* 200 kN namun dengan peruntukkan yang berbeda. Golechha, *et al.* [12] mengembangkan mesin *press* 100 kN melalui *upgrading* dari jenis mekanikal menjadi mesin *press* pneumatik. Khatib, *et al.* [13] mengembangkan mesin *press* hidraulik kapasitas 50 kN untuk kebutuhan khusus. Indah dan Baehaqi [14] mengembangkan mesin *press* hidraulik kapasitas 20 kN untuk digunakan sebagai alat pengepres geram sampah mesin perkakas. Di sisi lain, perkembangan teknologi yang mengarah kepada miniaturisasi, akan mendorong kebutuhan *micro-press* dalam penyediaan komponen mikro. Oleh karenanya, pengembangan mesin *micro-press* menjadi peluang yang sangat baik untuk memenuhi kebutuhan mesin *press* skala mikro, yang akan dibutuhkan oleh pengguna baik peneliti maupun pelaku industri.

Pengembangan mesin *micro-press* yang pernah dilakukan oleh peneliti lain diantaranya adalah Groche, *et al.* [15] membuat prototipe mesin *micro-forming* dengan kapasitas maksimum 20 kN dan kecepatan maksimum 1200 spm (*stroke/minutes*). Selain itu, Flexible μ -Forming berkapasitas 5,3 kN pernah dikembangkan oleh Y. Qin, *et al.* [16] yang dilengkapi dengan alat ukur gaya proses beresolusi sebesar 0,1 N. Presz *et al.* [17] mengembangkan mesin *micro-forming* dengan kapasitas 5 kN dengan penggerak piezoelectric, sementara Arentoft, *et al.* [18] menggunakan aktuator servo motor untuk mesin *micro-forming* nya berkapasitas 50 kN. Sedangkan, Jie Xu, *et al.* [1] mengembangkan mesin *micro-forming* dengan kapasitas 8,8 kN dengan kecepatan *stroke* maksimum 1,1 m/s, dan mampu beroperasi pada kecepatan minimum sebesar 5 μ m/s dengan resolusi posisi 0,12 μ m.

Penelitian yang dipaparkan pada artikel ini merupakan tahap awal dari pengembangan teknologi *micro-sheet metal forming* yaitu tahap perancangan mesin *micro-press* dan validasi rancangan dengan menggunakan software CAE (*Computer Aided Engineering*) yang sesuai. Pengembangan mesin *micro-forming* yang sudah dikembangkan sebelumnya menjadi referensi penentuan spesifikasi *micro-press* yang akan dirancang. Metode yang digunakan adalah VDI 2222, dengan daftar tuntutan rancangan yang ditentukan berdasarkan identifikasi kebutuhan. Dari penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan sebuah rancangan mesin *micro-press* yang dapat memenuhi tuntutan kerja pada lingkup skala mikro sehingga dapat digunakan untuk pengembangan teknologi *micro-forming* selanjutnya.

2. METODE DAN BAHAN

Metode penelitian yang dipilih mengacu pada VDI 2222 (*Verien Deutsche Ingenieur / Persatuan Insinyur Jerman*). Metode ini banyak digunakan oleh peneliti dalam mengembangkan konstruksi mekanik, seperti yang dilakukan oleh Komara dan Saepudin [19] serta Media, *et al.* [20]. Dalam metode perancangan VDI 2222 terdapat empat fase utama, yaitu merencana, mengonsep, merancang dan penyelesaian (Gambar 1).



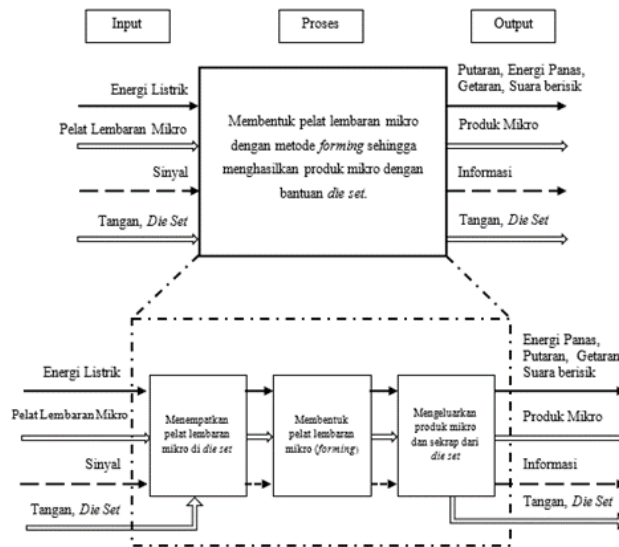
Gambar 1: Diagram alir proses perancangan.

Pada tahap merencana dilakukan identifikasi kebutuhan dan perumusan daftar tuntutan konstruski mesin press yang kemudian akan menjadi acuan utama dalam perancangan mesin *micro-press*. Prinsip kerja dari mesin *press* pada umumnya adalah menggerakkan komponen pembentuk (*punch*) yang dirakit pada komponen mesin yang dapat bergerak (*ram*) agar dapat membentuk material dengan cara ditekan. Komponen pembentuk yang bergerak ini mempunyai komponen pasangan (*die*) yang dirakit pada bagian mesin yang tidak bergerak (*bolster*). Arah gerak kerja mesin press pada umumnya vertikal dengan komponen pembawa *ram* yang bergerak. Dalam penelitian ini digunakan *ball screw* sebagai pembawa ram untuk bergerak naik dan turun. Dari studi yang telah dilakukan diperoleh kisaran kapasitas mesin sejenis adalah 5 kN sampai dengan 20 kN. Pada penelitian ini ditentukan kapasitas maksimum mesin adalah 5 kN berdasarkan pertimbangan ukuran dan jenis material produk yang akan dibuat memerlukan daya proses yang sangat kecil, Untuk kemudahan *handling* material dan produk, serta mempertimbangkan kecepatan produksi, maka ditetapkan panjang langkah mesin adalah 230 mm dengan kecepatan pembentukan berkisar pada 100 spm sampai dengan 150 spm. Area kerja untuk proses mikro diperkirakan membutuhkan area yang tidak lebih besar dari 200 mm x 200 mm. Hasil dari indentifikasi kebutuhan tersebut kemudian dituliskan dalam bentuk tabel daftar tuntutan yang akan menjadi acuan dalam perancangan mesin *mico press*, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1: Daftar tuntutan perancangan *micro-press*.

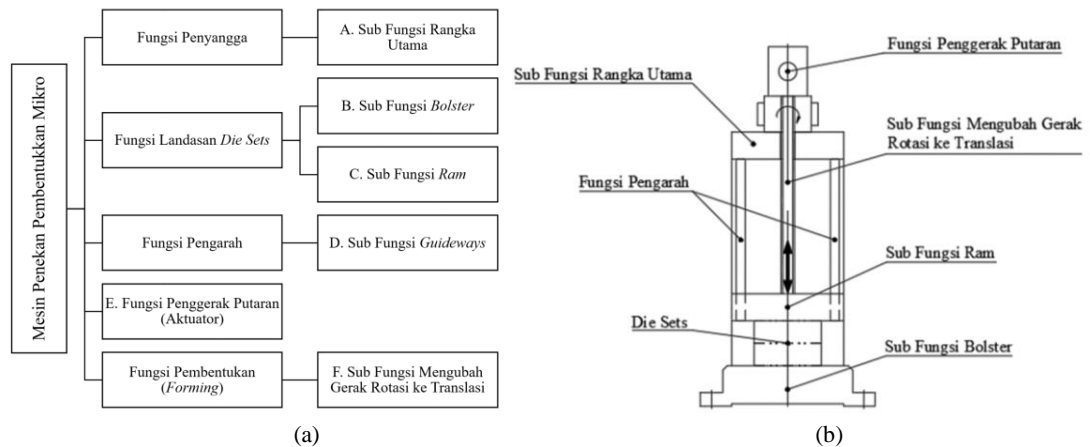
| Tuntutan Utama | | | |
|-------------------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| No. | Tuntutan | Keterangan | |
| 1. | Kapasitas mesin | 5 kN | |
| 2. | Posisi kerja | Vertikal | |
| 3. | Kecepatan | 100 s.d. 150 spm | |
| 4. | Slide stroke | 230 mm | |
| 5. | Area kerja | Lebar | 200 mm |
| | | Panjang | 200 mm |
| 6. | Material komponen mikro | Jenis | Alumunium 6061 Seng Paduan C26000 Cooper C10200 Baja SPCC |
| | | Dimensi maks. | Tebal × Diameter 0,1 mm × 16,65 mm |
| Tuntutan Sekunder | | | |
| 6. | Dimensi Mesin | | |
| | Panjang | Maks. 500 mm | |
| | Lebar | Maks. 500 mm | |
| | Tinggi | Maks. 1100 mm | |
| Tuntutan Tambahan | | | |
| 7. | Pengoperasian | Tidak terdapat instruksi khusus | |

Di dalam tahap mengonsep, digunakan *black box* untuk membuat kerangka konsep rancangan yang dapat memenuhi tuntutan rancangan yang telah ditentukan sebelumnya. Proses pembentukan pada mesin penekan *micro-press* ini dimulai dengan memasukkan pelat lembaran mikro ke dalam alat penekan *micro tool* yang dipasang pada *micro-press*. Proses pembentukan terjadi karena penetrasi pembentuk *punch* pada pelat lembaran mikro yang ditempatkan pada komponen die. *Punch* dan dudukannya dipasang pada bagian mesin yang dapat bergerak naik dan turun (*ram*), sedangkan *die* dan dudukannya dipasang pada bagian mesin yang diam (*bolster*). Ram dapat bergerak karena digerakan oleh aktuator, menggerakkan *punch* untuk melakukan penetrasi kedalam *die* yang terpasang pada *bolster*. Material logam lembaran yang berada diantaranya akan terbentuk sesuai dengan produk/tahapan produk yang direncanakan. Pada tahap pengembangan ini, produk akan dikeluarkan dari mesin secara manual oleh operator. *Black box* dari tahapan mengonsep ini ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2: *Black Box* tahapan merencana *micro-press*.

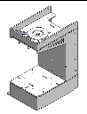
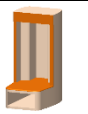




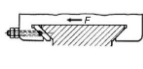


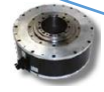

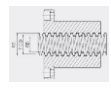
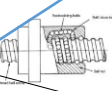
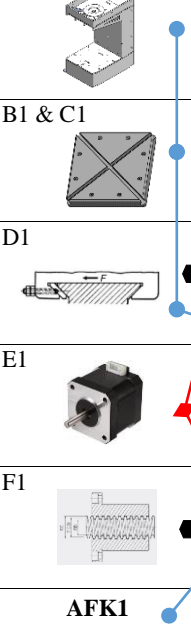
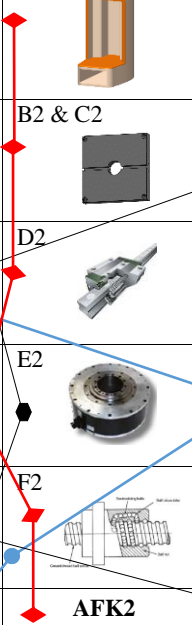
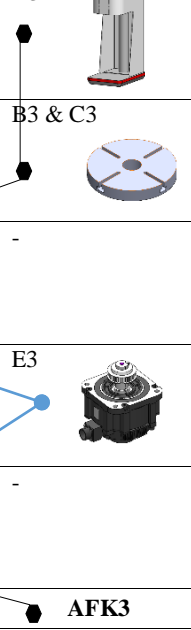
Berdasarkan *black box* pada Gambar 2, maka dihasilkan struktur fungsi yang memuat fungsi keseluruhan yang dapat diuraikan menjadi beberapa fungsi bagian dan sub-fungsi bagian yang terdapat pada mesin yang akan dibangun. Secara umum, fungsi-fungsi yang terdapat pada mesin diantaranya; fungsi penggerak putaran (aktuator), fungsi pembentukan, fungsi pengarah, fungsi landasan die set, fungsi input, fungsi output dan fungsi rangka [21]. Pada penelitian ini, struktur fungsi bagian *micro-press* digambarkan pada Gambar 3.a, dengan skema rancangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.b. Fungsi-fungsi bagian yang telah diuraikan ini dapat menjadi acuan proses selanjutnya yaitu penentuan alternatif fungsi bagian untuk kemudian dikombinasikan antara fungsi bagian dan/atau sub fungsi bagian.



Gambar 3: Struktur fungsi bagian (a) dan skema rancangan mesin *micro-press* (b).

Variasi kombinasi dari fungsi bagian dan/atau sub fungsi bagian akan mendapatkan Alternatif Fungsi Kombinasi (AFK). Tiga AFK terbaik ditunjukkan pada Tabel 2. Langkah berikutnya pada tahap mengonsep adalah pemilihan AFK untuk mendapatkan desain mesin terbaik berdasarkan aspek teknis dan ekonomis yang akan dijelaskan pada bagian selanjutnya. Pada tahap merancang, AFK terpilih tersebut kemudian dilengkapi konstruksinya bedasarkan perhitungan-perhitungan konstruksi, pemilihan elemen mesin, dan pemilihan material. Validasi kekuatan konstruksi disimulasikan dengan menggunakan bantuan *software solid works* sebagai salah satu pendukung fungsi CAE yang mampu melakukan analisis elemen hingga yang beroperasi pada *processor Intel(R) Core(TM) i7-6700HQ CPU @ 2.60GHz*, RAM 16.0 GB, system type x64-based processor. Hasil validasi tersebut kemudian menjadi pertimbangan modifikasi konstruksi jika diperlukan. Berikutnya adalah tahap akhir yaitu pembuatan draf konstruksi rancangan yang memuat informasi rancangan secara keseluruhan serta spesifikasi mesin *micro-press*.

Tabel 2: Alternatif Fungsi Kombinasi (AFK).

| No. | Fungsi Bagian | Alternatif Konstruksi Fungsi Bagian | | |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | Alternatif 1 | Alternatif 2 | Alternatif 3 |
| A | Sub Fungsi Rangka Utama | A1  | A2  | A3  |
| B & C | Sub Fungsi <i>Bolster</i> dan Sub Fungsi <i>Ram</i> | B1 & C1  | B2 & C2  | B3 & C3  |
| D | Sub Fungsi <i>Guideways</i> | D1  | D2  | - |
| E | Fungsi Penggerak Putaran (Aktuator) | E1  | E2  | E3  |
| F | Sub Fungsi Mengubah Gerak Rotasi Menjadi Gerak Translasi | F1  | F2  | - |
| Alternatif Fungsi Kombinasi | | AFK1  | AFK2  | AFK3  |

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Pemilihan Alternatif Fungsi Konstruksi

Pemilihan desain mesin dilakukan dengan melakukan penilaian AFK berdasarkan aspek teknis dan ekonomis untuk menentukan konsep desain yang optimal (Tabel 3 dan Tabel 4). Setelah dilakukan proses penilaian dari aspek teknis dan ekonomis, selanjutnya dilakukan penilaian akhir (Tabel 5) dengan mempertimbangkan persentase dari kedua aspek tersebut. Pembobotan untuk aspek teknis lebih diprioritaskan dibandingkan aspek ekonomis karena fungsi dari konstruksi lebih diutamakan untuk dicapai. Berdasarkan proses penilaian tersebut, maka dapat ditentukan AFK1 merupakan alternatif fungsi yang paling ideal dibanding alternatif fungsi kombinasi yang lainnya. Sehingga AFK1 ditentukan sebagai konsep desain terpilih (Gambar 4).

Tabel 3: Penilaian aspek teknis.

| NO | Aspek yang Dinilai | Bobot [%] | Alternatif Fungsi Kombinasi | | | | | Nilai Ideal | | |
|----------------|--------------------|-----------|-----------------------------|------|------|----|-----|-------------|------|-----|
| | | | AFK1 | AFK2 | AFK3 | | | | | |
| 1. | Pencapaian Fungsi | 25 | 4 | 100 | 3 | 75 | 4 | 100 | 5 | 125 |
| 2. | Konstruksi | 15 | 4 | 60 | 3 | 45 | 2 | 30 | 5 | 75 |
| 3. | Pengoperasian | 20 | 3 | 60 | 3 | 60 | 4 | 80 | 5 | 100 |
| 4. | Pembuatan | 15 | 3 | 45 | 4 | 60 | 3 | 45 | 5 | 75 |
| 5. | Perakitan | 10 | 3 | 30 | 2 | 20 | 3 | 30 | 5 | 50 |
| 6. | Perawatan | 15 | 3 | 45 | 3 | 45 | 3 | 45 | 5 | 75 |
| Nilai Total | | 100 | 340 | | 305 | | 330 | | 500 | |
| Persentase (%) | | | 68% | | 61% | | 66% | | 100% | |

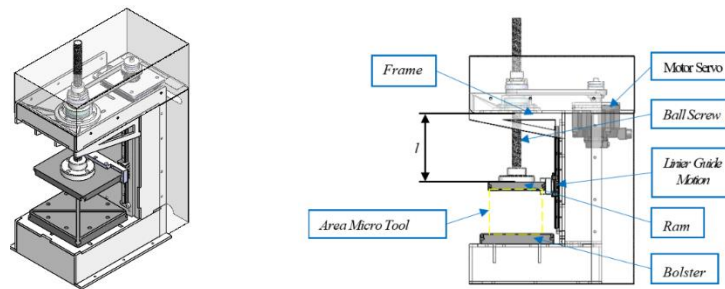
Tabel 4: Penilaian aspek ekonomis.

| No | Aspek yang Dinilai | Bobot [%] | Alternatif Fungsi Kombinasi | | | | | Nilai Ideal | | |
|----|--------------------|-----------|-----------------------------|------|------|-----|---|-------------|---|-----|
| | | | AFK1 | AFK2 | AFK3 | | | | | |
| 1. | Biaya Pembuatan | 30 | 3 | 90 | 3 | 90 | 4 | 120 | 5 | 150 |
| 2. | Biaya Perawatan | 35 | 4 | 140 | 4 | 140 | 5 | 175 | 5 | 175 |

| | | | | | | | | | | |
|----|--------------------------------|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|------|
| 3. | Penggunaan Komponen Standar | 35 | 5 | 175 | 3 | 105 | 2 | 70 | 5 | 175 |
| | Nilai Total | 100 | | 405 | | 335 | | 365 | | 500 |
| | Persentase (%) | | | 81% | | 67% | | 73% | | 100% |

Tabel 5: Penilaian akhir Alternatif Fungsi Kombinasi (AFK).

| No. | Aspek yang Dinilai | Bobot [%] | Alternatif Fungsi Kombinasi | | |
|-----|----------------------|-----------|-----------------------------|-------|-------|
| | | | AFK1 | AFK2 | AFK3 |
| 1. | Aspek Teknis | 65 | 44,2 | 39,65 | 42,9 |
| 2. | Aspek Ekonomis | 35 | 28,35 | 23,45 | 25,55 |
| | Persentase Akhir (%) | | 72,55 | 63,1 | 68,45 |



Gambar 4: Alternatif Fungsi Kombinasi (AFK) terpilih.

3.2. Perhitungan Konstruksi

Proses perhitungan awal dilakukan untuk menentukan dan memastikan komponen yang digunakan dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan tuntutan [22]. Perhitungan awal ini terdiri dari perhitungan menentukan dimensi poros ulir penekan, torsi motor servo, dan perhitungan menentukan *linier motion guide*.

Langkah awal yang dilakukan adalah mencari diameter awal poros ulir penekan berdasarkan tegangan *buckling* yang terjadi akibat gaya pembentukan (F) seperti yang ditunjukkan pada persamaan (1) dan (2) [23]. Dengan gaya proses pembentukan (F) = 5000 N, nilai faktor keamanan untuk kasus *buckling* (s) = 8, panjang poros ulir penekan (l , Gambar 4) = 295 mm, dan modulus elastisitas (E) = 2100000 N/mm². Dengan menggunakan persamaan (1) diperoleh panjang *buckling* (l_k) = 206,5 mm dan diameter inti poros ulir (d_2) = 11,379 mm

$$\text{Panjang buckling, } l_k = 0,7 \times l \tag{1}$$

$$\text{Diameter inti poros ulir, } d_2 = \sqrt[4]{\frac{64 \times F \times s \times l_k^2}{\pi^2 \times E}} \tag{2}$$

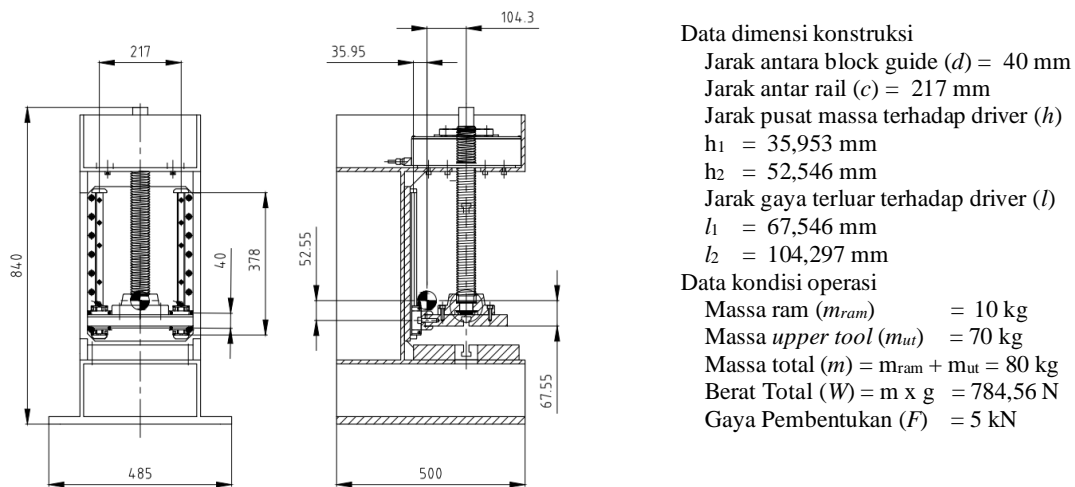
Dari nilai d_2 yang didapat, diketahui bahwa poros ulir penekan minimum adalah 11,3 mm. Langkah berikutnya yang dilakukan adalah menghitung torsi motor untuk menghasilkan gaya pembentukan (F) 5000 N, sebagai acuan pemilihan motor yang akan digunakan. Dengan Sudut ulir trapesium (e') = 6° dan pitch (p_h) = 8 mm, maka dengan menggunakan persamaan (3) dan (4) diperoleh sudut (φ) = 12,7° dan torsi motor (T) = 9561,87 Nmm

$$\text{Sudut, } \varphi = \tan^{-1}\left(\frac{p_h}{d_2 \times \pi}\right) \tag{3}$$

$$\text{Torsi motor, } T = F \times \frac{d_2}{2} \times \tan(\varphi + e') \tag{4}$$

Konstruksi ini menggunakan *linier motion guide* (LMG) sebagai pengarah gerak. Beban yang terjadi yaitu akibat berat komponen yang bergerak dan akibat proses pembentukan. Pengaruh kedua beban tersebut terhadap besar beba yang harus ditumpu oleh komponen LMG dihitung berdasarkan prinsip kesetimbangan momen. Oleh karena itu, diperlukan titik berat komponen yang bergerak bersama LMG seperti yang

ditunjukkan pada Gambar 5 berikut ini. Kemudian beban yang terjadi dibandingkan dengan maksimum beban yang terdapat dalam katalog komponen. Nilai perbandingan ini tidak boleh melebihi faktor keamanan untuk kondisi dinamik, yaitu 2 sampai dengan 5 [24].



Data dimensi konstruksi
 Jarak antara block guide (d) = 40 mm
 Jarak antar rail (c) = 217 mm
 Jarak pusat massa terhadap driver (h)
 h_1 = 35,953 mm
 h_2 = 52,546 mm
 Jarak gaya terluar terhadap driver (l)
 l_1 = 67,546 mm
 l_2 = 104,297 mm
 Data kondisi operasi
 Massa ram (m_{ram}) = 10 kg
 Massa upper tool (m_{ut}) = 70 kg
 Massa total (m) = $m_{ram} + m_{ut}$ = 80 kg
 Berat Total (W) = $m \times g$ = 784,56 N
 Gaya Pembentukan (F) = 5 kN

Gambar 5: Titik berat mesin.

Untuk lebih memudahkan, *linear motion guide* dengan tipe HGW20 dipilih dahulu berdasarkan kecukupan geometri, untuk selanjutnya dikonfirmasi kekuatannya berdasarkan pembebanan akibat berat komponen dan gaya proses maksimum. Pembebanan akibat berat komponen (P_w) dihitung berdasarkan berat total (W), jarak pusat massa terhadap driver (h), dan jarak antar *block guide* (d), seperti yang ditunjukkan pada persamaan (5). Sehingga diperoleh $P_w = 352,591$ N. Pembebanan akibat gaya proses (P_f) dihitung berdasarkan gaya pembentukan (F), jarak gaya terluar terhadap driver (l_1) dan jarak antar rail (c) seperti yang ditunjukkan pada persamaan (6). Total pembebanan (P) adalah jumlah dari pembebanan akibat berat komponen dan gaya proses maksimum, yaitu 1130,771N. Berdasarkan katalog komponen, LMG HGW20 memiliki *basic static load rating* (C_o) = 36,68 kN dan *basic dynamic load rating* (C) = 27,1 kN. Sehingga nilai faktor keamanan LMG adalah $C/P = 23,966$. Nilai faktor keamanan tersebut menunjukkan bahwa LMG HGW20 dapat digunakan pada konstruksi mesin *micro-press* ini.

$$\text{Pembebanan akibat berat komponen, } P_w = \frac{W \times h_1}{2 \times d} \quad (5)$$

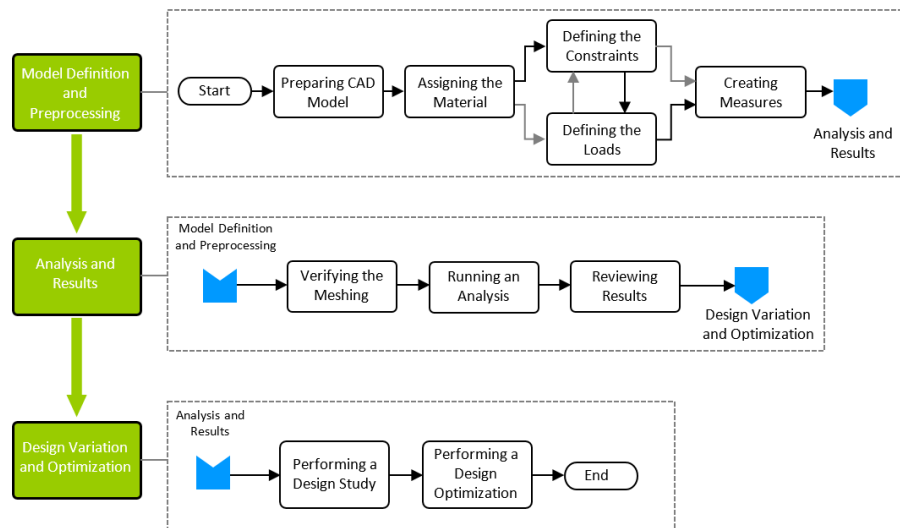
$$\text{Pembebanan akibat gaya proses, } P_f = \frac{F \times l_1}{2 \times c} \quad (6)$$

3.3. Validasi Kekuatan Konstruksi

Untuk memastikan rancangan mesin telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan validasi menggunakan metode elemen hingga dengan menggunakan salah satu *software* CAD/CAE, dengan tahapan sebagai berikut:

1. *Model definition and preprocessing*
2. *Performing the analysis and reviewing the results*
3. *Varying the parameters and optimizing the design*

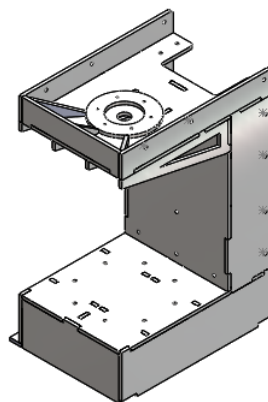
Keseluruhan prosedur dapat dilihat pada Gambar 5. Beberapa detail tambahan pada masing-masing langkah harus dilakukan secara lengkap dan benar sebelum dilanjutkan ke langkah berikutnya.



Gambar 5: Keseluruhan langkah-langkah dalam solusi FEA.

1) Pemodelan Geometri

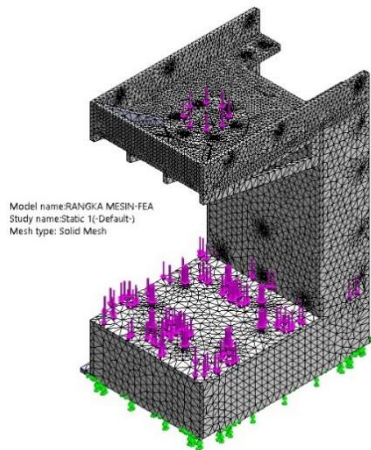
Tujuan dilakukannya simulasi ini adalah menilai komponen-komponen terakit apakah saling menunjang dalam fungsinya. Oleh karena itu, model yang digunakan sebagai objek simulasi adalah model *solid* dengan *assembly mode*. Rancangan yang dibuat cukup sederhana sehingga pemodelan dapat dilakukan pada *mode* tersebut. Model disimulasikan sebagai benda *solid* agar ketika simulasi dijalankan, dapat dilihat kecukupan fungsi komponen secara geometri. Selain itu, ketika perhitungan dilakukan dengan model *solid*, maka akan muncul berbagai macam kemungkinan seperti komponen yang saling berpotongan atau bertubrukan. Sehingga hal ini dapat dijadikan dasar perubahan bentuk, ukuran, atau jumlah komponen jika diperlukan.



Gambar 6: Model struktur rangka

2) Pemodelan Elemen Hingga

Finite element analysis (FEA) membutuhkan pembagian model menjadi bangun geometri yang lebih kecil. Hubungan antar bangun tersebut didefinisikan sebagai nodal. Kualitas *mesh* diatur dengan kualitas yang tinggi dengan bentuk segitiga dan ukuran elemen rata-rata sebesar 19mm dan toleransi 1mm. Pada model diterapkan beberapa *mesh control* untuk komponen yang membutuhkan ketelitian yang lebih tinggi. Pada kasus ini bagian rangka atas serta lubang-lubang dibagi menjadi geometri berukuran 8mm. Model rangka ini memiliki jumlah elemen total sebanyak 72.285 dan nodal 128.844. Dari penilaian model *meshing* yang dilakukan, diperoleh 94.9% elemen dengan *aspect ratio* lebih kecil dari 3, sehingga pemodelan elemen hingga dapat dinilai cukup baik. Persentase elemen dengan *aspect ratio* lebih besar dari 10 adalah sebanyak 0.00415% atau sejumlah 3 elemen saja. Pada model diterapkan 4 titik kontrol Jacobian dan didapatkan dari hasil kontrol bahwa tidak ada elemen yang terdistorsi sehingga elemen sudah terbagi dengan baik.



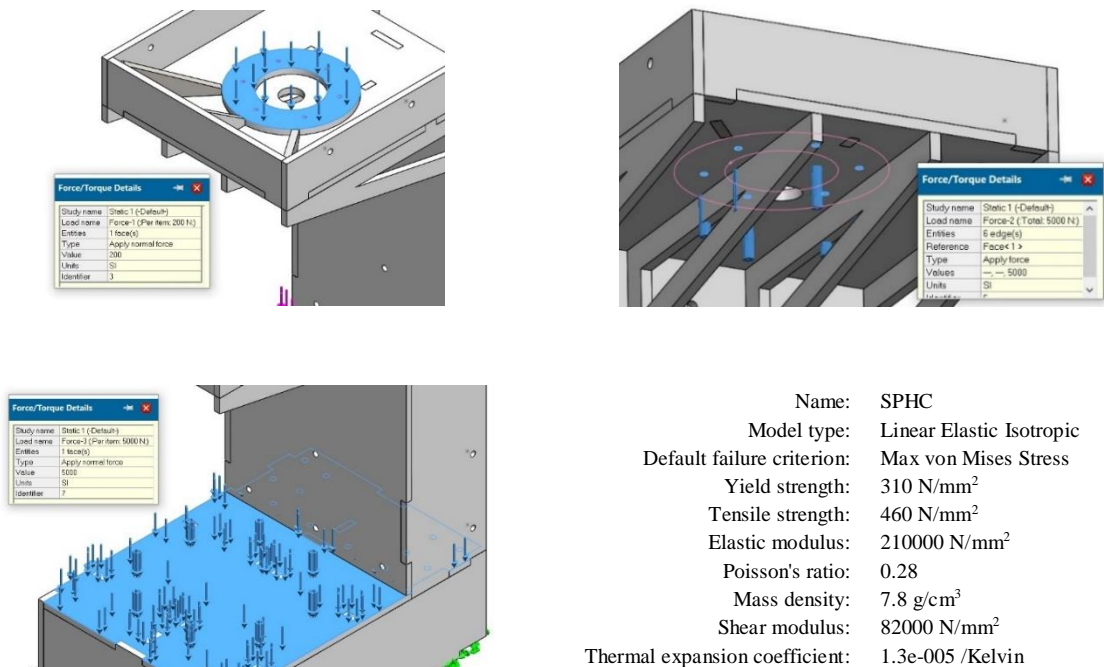
- Mesh type : Solid Mesh
- Include Mesh Auto Loops: : Off
- Jacobian points : 4 Points
- Element Size : 19 mm
- Tolerance : 1 mm
- Mesh Quality Plot : High
- Total Nodes : 128844
- Total Elements : 72285
- Maximum Aspect Ratio : 31.43
- % of elements with Aspect Ratio < 3 : 94.9
- % of elements with Aspect Ratio > 10 : 0.00415
- % of distorted elements(Jacobian) : 0
- Time to complete mesh(hh:mm:ss): : 00:00:25

Gambar 7: Model *meshing* elemen hingga.

3) Pembebanan, Tumpuan, dan Material

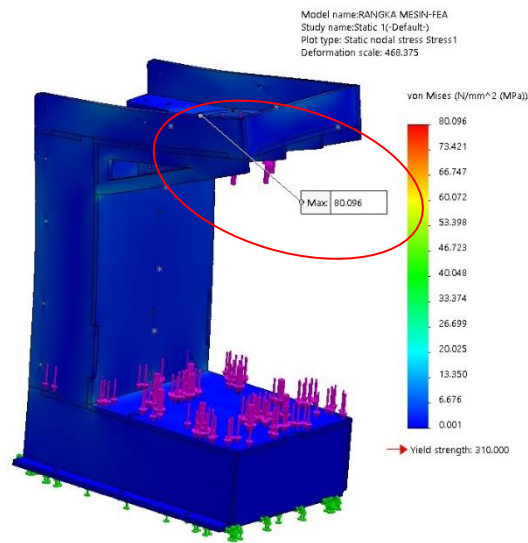
Pada model diterapkan *global contact condition* tipe *bonded* untuk menjaga kontak antar permukaan komponen selalu menempel, karena komponen-komponen pada rangka tersebut akan dirakit dengan cara dilas. Ketika ada gaya yang mempengaruhi beberapa komponen bersamaan, maka deformasi yang terjadi akan mempengaruhi seluruh konstruksi akibat dari *bonded* tersebut. Pada konstruksi ini, tumpuan yang didefinisikan pada permukaan bawah rangka (Gambar 8) yang ditandai dengan simbol panah jangkar hijau. Hal ini menandakan bahwa rangka mesin akan dipasang pada meja dan tidak akan bergerak relatif terhadapnya.

Gaya luar yang bekerja pada rangka didefinisikan menjadi 3 gaya berbeda yaitu gaya tekan ke bawah dan ke atas masing-masing sebesar 5000 N serta gaya tambahan 200 N beban tambahan dari gaya berat elemen transmisi serta gaya pengikatnya. Gaya 5000 N tersebut merupakan gaya tekan terdistribusi maksimal apabila mesin bekerja pada gaya proses maksimal. Material yang digunakan adalah SPHC yang memiliki *yield strength* sebesar 310N/mm² dan *tensile strength* sebesar 460 N/mm².



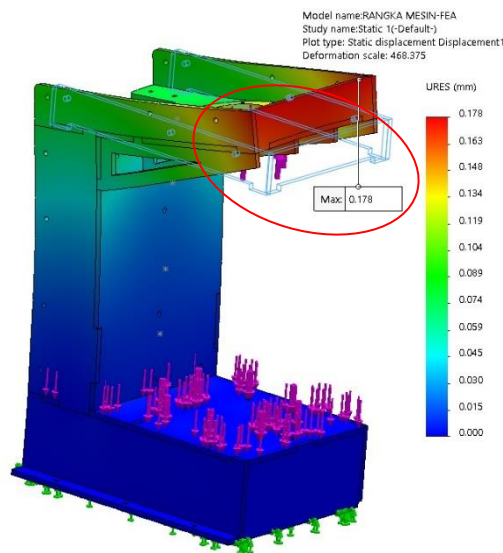
Gambar 8: Pembebanan, tumpuan dan penentuan material.

4) Hasil Analisis



Gambar 9: Distribusi tegangan Von Mises pada rangka mesin.

Berdasarkan hasil simulasi, tegangan maksimum yang terjadi sebesar 80,096 MPa terkonsentrasi di bagian atas rangka mesin. Kondisi disekitarnya menunjukkan nilai yang lebih kecil di kisaran 8,717 MPa (Gambar 9). Sehingga dengan demikian kondisi ini masih dapat diterima karena masih dalam batas tegangan yang diizinkan sebesar 220 MPa. Demikian pula halnya dengan deformasi maksimum yang juga terkonsentrasi di bagian atas rangka mesin sebesar 0,17 mm (Gambar 10). Tegangan maksimum yang terjadi disebabkan karena pada bagian tersebut terdapat beban tambahan dari gaya berat elemen transmisi serta gaya pengikatnya. Rangkuman dari hasil analisis ini ditunjukkan pada Tabel 6 berikut ini.



Gambar 10: Distribusi deformasi pada rangka mesin.

Tabel 6: Hasil analisis kekuatan konstruksi.

| Type | Min | Max |
|------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Von Mises Stress | 0,126 N/mm ² (MPa) Node: 77606 | 80,096 N/mm ² (MPa) Node: 64484 |
| Resultant Displacement | 0,000 mm Node: 23403 | 0,178 mm Node: 76680 |

4. KESIMPULAN

Pengembangan tahap awal teknologi *sheet-metal forming* telah menghasilkan rancangan *micro-press* berkapasitas 5 kN yang telah divalidasi kekuatan komponen utama dan struktur rangka mesin melalui penyelesaian matematis dan numerik dengan bantuan *software* CAE. Dari hasil validasi tersebut dapat disimpulkan bahwa konstruksi mesin *micro-press* secara umum cukup kuat. Komponen yang dipilih memiliki spesifikasi kekuatan yang lebih besar dari yang dibutuhkan, dan tegangan maksimum yang terjadi pada rangka masih sangat lebih kecil dibandingkan tegangan yang diijinkan pada material yang digunakan, yaitu SPHC. Besar *resultant displacement* sebenarnya menunjukkan nilai yang cukup kecil, namun mesin harus diperiksa lanjut dan diuji untuk membuktikan pengaruh nilai *displacement* ini terhadap kinerja mesin pada lingkup skala mikro. Oleh karena itu, langkah selanjutnya dari tahap awal pengembangan ini adalah fabrikasi dan pengujian mesin untuk mengetahui kinerja mesin pada proses pembentukan komponen mikro dari material logam lembaran.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] XU, J., GUO, B., SHAN, D., WANG, C., LI, J., LIU, Y., et al., "Development of a micro-forming system for micro-punching process of micro-hole arrays in brass foil", *Journal of Materials Processing Technology*, 2011/2012; 212: 2238 - 2246. https://www.researchgate.net/publication/251551404_Towards_the_first_generation_micro_bulk_for_ming_system
- [2] JESWIET, J., GEIGER, M., ENGEL, U., KLEINER, M., SCHIKORRA, M. DUFLOU, J., NEUGEBAUER, R., BARIANI, P., DAN BRUSCHI, S., "Metal Forming Progress Since 2000", *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, v. 1, pp. 2-17, 2008. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755581708000060>
- [3] MAHMUDAH, A., dan KISWANTO, G., "Development and Measurement 2017. of 5 kN μ -Forming Machine", *JEMMME*, v. 1, n. 1, n. 2541-6332, November 2016. <https://ejournal.umm.ac.id/index.php/JEMMME/article/view/4474>
- [4] MAHMUDAH, A., "Pengembangan Sistem Micro-forming dan Analisis Parameter Proses pada Proses Manufaktur Part Mikro: Sebuah Kontribusi Dalam Menjawab Tantangan Miniaturisasi dan Fungsi Terintegrasi", Dalam: *Orasi rekayasa dipresentasikan di Pelantikan Mahasiswa Baru Politeknik Manufaktur Bandung T.A. 2019/2020*, Bandung, Jawa Barat, 2019.
- [5] KISWANTO, G., dan MAHMUDAH, A., "Punch Force Behavior During Micro V-Bending Process of the Copper Foil", *International Journal of Technology*, v. 7, pp. 1314-1320, 2017. <https://ijtech.eng.ui.ac.id/article/view/747>
- [6] RAZALI, A. R., dan YIQIN., "A Review on Micro-manufacturing, Micro-forming and their Key Issue". *Sci Verse Science Direct*, v. 53, pp. 665-672. 2013. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705813002051>
- [7] MASUZAWA, T., "State of the Art of Micromachining", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, v. 49, n. 2, pp. 473-488, 2000. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007850607634519>
- [8] RANI, G.J., RAO G.P., RAO, K.S., TEJA, M., "Design and Optimization of 200 Ton H-Type Hydraulic Press", *E3S Web of Conferences* 309, ICMED 2021.
- [9] CHAUHAN, H.N., and BAMBHANIA, M.P., "Design & Analysis of Frame of 63 Ton Power Press Machine by Using Finite Element Method", *Indian Journal of Applied Research*, Vol.3, Issue.7, pp. 285-288, 2017. doi: 10.15373/2249555X/JULY2013/88.
- [10] KAMATE, A.M., AND BAGI, J.S., "Design, Development and Analysis of a 20 Ton Hydraulic Press", *International Journal of Innovative Technology and Research*, Vol.4, Issue.1, pp. 2560-2563, 2016.
- [11] SYAUKANI, M., PAUNDR, F., QALBINA, F., ARIROHMAN, I.D., YUNESTI, P., SABAR, "Desain dan Analisis Mesin Press Komposit Kapasitas 20 Ton", *Journal of Science, Technology, and Virtual Culture*, Vol.1(1), 2021.

- [12] GOLECHHA, B., KULKARNI, P.S., "Design, Analysis and Optimization of 10 Ton Pneumatic Press Machine", *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, Vol.4, Issue.3, 2017.
- [13] KHATIB, M.I., AHMED, R.Z., UDDIN, M.S., RAHMAN, M.A., SHAREEF, M.R., AKBER S., KHAN, M., SHAIKH, S., "Design and Fabrication of 5 Ton Hydraulic Press Machine", *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, Vol.7., Issue.2, 2020. DOI: <https://doi.org/10.32628/IJSRSET207210>.
- [14] INDAH, N., BAEHAQI, M., "Desain dan Perancangan Alat Pengepres Geram Sampah Mesin Perkakas", *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, Vol.06., No.1, 2017.
- [15] GROCHE, P., SCHNEIDER, R., "Method for the Optimization of Forming Presses for the Manufacturing of Micro Parts", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 2004; 53: 281 - 284. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007850607606982>
- [16] QIN, Y., MA, Y., HARRISON, C., BROCKETT, A., ZHOU, M., ZHAO, M., et al., "Development of a new machine system for the forming of micro-sheet-products", *International Journal of Material Forming*. 2008; 1: 475 - 478. https://www.researchgate.net/publication/225822098_Development_of_a_new_machine_system_for_the_forming_of_micro-sheet-products
- [17] PRESZ, W., ANDERSEN, B., WANHEIM, T., "Piezoelectric driven Micro-press for microforming", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 2006; 18. https://www.researchgate.net/publication/42253349_Piezoelectric_driven_Micro-press_for_microforming
- [18] ARENTOFT, M., ERIKSEN, S, R., HANSEN, N, H., PALDAN, A, N., "Towards the first generation micro bulk forming system. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*", 2011; 60: 335 - 338.
- [19] KOMARA, A.I DAN SAEPUDIN, "Aplikasi Metode VDI 2222 Pada Proses Perancangan Welding Fixture untuk Sambungan Cerobong dengan Teknologi CAD/CAE", *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cylinder*, Vol.1 No.2, pp 1-8, Oktober 2014.
- [20] MEDIA, R.I., ADHIHARTO, R., PATRIATNA, E., PRIMAYANGPUTRI, U., " Studi Perancangan Combination Tool Air Vent Non-Cylinder dengan Metode VDI 2222", *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, Vol.06, No.4, Oktober 2017
- [21] SUDARMAWAN, R., *Teknologi Press Dies Panduan Desain*, Yogyakarta, Penerbit Kanisius, 2009.
- [22] WITTEL, H., MUHS, D., JANNASCH, D., VOßIEK, J., et al., *Rollof/Matek Maschinenelemente*, 21 ed., Germany, Springer Vieweg. 2013.
- [23] HIWIN, *Ballscrews, Technical Information form S99TE21-1810*, 21 ed., Taiwan, HIWIN Technologies Corp., 2018.
- [24] HIWIN, *Linear Guideway, Technical Information form G99TE21-1911*, 21 ed., Taiwan, HIWIN Technologies Corp., 2019.