

RANCANG BANGUN ALAT PRES MOULDING PROYEKTIL SLUG UNTUK SENAPAN ANGIN SKALA INDUSTRI RUMAHAN MENGGUNAKAN METODE ULRICH

Tri Cahyo Laksono¹, Tri Andi Setiawan^{1*}, Dian Asa Utari¹

¹Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal,
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

***Email: triandis@ppns.ac.id**

Abstrak

Permintaan proyektil *slug* untuk senapan angin di Indonesia terus meningkat seiring popularitas olahraga menembak dan berburu. Namun, produksi di industri rumahan masih terkendala efisiensi dan konsistensi karena penggunaan *moulding* manual yang memerlukan beberapa kali pengepresan serta pemotongan sisa bahan. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun alat *press moulding* proyektil *slug* menggunakan metode Ulrich secara sistematis untuk meningkatkan efisiensi produksi, presisi produk, dan ergonomi kerja. Proses perancangan dilakukan dengan Autodesk Fusion 360 untuk menghasilkan tiga alternatif desain yang dievaluasi berdasarkan kriteria kekuatan, ergonomi, kemudahan fabrikasi, dan biaya. Analisis kekuatan menggunakan metode elemen hingga (FEA) memastikan alat mampu menahan beban tekan berulang, sedangkan analisis ergonomi RULA digunakan untuk meminimalkan risiko cedera operator. Hasil seleksi konsep menunjukkan desain kedua sebagai pilihan terbaik. Biaya pembuatan alat meliputi pembelian bahan baku Rp150.000, komponen pendukung Rp168.000, dan fabrikasi Rp1.000.000, sehingga total Rp1.318.000. Produk direncanakan dipasarkan dengan harga Rp2.500.000. Uji coba produksi 100 butir proyektil *slug* memerlukan waktu 40 menit, lebih cepat 30 menit dibandingkan alat *press* eksisting yang membutuhkan 70 menit untuk jumlah yang sama. Dengan peningkatan efisiensi waktu sebesar 42,8% dan kualitas hasil yang lebih konsisten, alat ini dinilai layak untuk mendukung produksi proyektil *slug* skala kecil dengan harga terjangkau serta daya saing terhadap produk impor.

Kata kunci: alat *press*, desain ergonomi, FEA, metode ulrich, proyektil *slug*

Abstract

The demand for slug projectiles for air rifles in Indonesia continues to grow in line with the rising popularity of shooting sports and hunting. However, production in small-scale home industries remains hindered by inefficiency and inconsistency due to the use of manual moulding, which requires multiple pressing steps and trimming of excess material. This study aims to design and develop a slug projectile moulding press using the systematic Ulrich method to improve production efficiency, product precision, and workplace ergonomics. The design process was carried out using Autodesk Fusion 360 to produce three alternative concepts evaluated based on strength, ergonomics, ease of fabrication, and cost criteria. Structural analysis using the Finite Element Analysis (FEA) method was conducted to ensure the press can withstand repeated loading, while ergonomic assessment using the RULA method was performed to minimize operator injury risk. The concept selection process identified the second design as the optimal choice. The manufacturing cost included raw material procurement of IDR 150,000, supporting components of IDR 168,000, and fabrication of IDR 1,000,000, for a total of IDR 1,318,000. The product is planned to be marketed at IDR 2,500,000. A production trial of 100 slug projectiles required 40 minutes, 30 minutes faster than the existing press which took 70 minutes for the same quantity. With a 42.8% time efficiency improvement and more consistent product quality, this press is considered suitable to support small-scale slug projectile production at an affordable cost while competing with imported products.

Keywords: ergonomic design, FEA, moulding press, slug pellet, ulrich method

PENDAHULUAN

Penggunaan senapan angin di Indonesia mengalami perkembangan yang signifikan, baik sebagai sarana olahraga, berburu, maupun koleksi. Data penjualan dari salah satu produsen nasional PT Indo Java, pada tahun 2021 mencatat penjualan sebanyak 1.600 unit senapan angin berbagai tipe, sedangkan jumlah anggota Persatuan Menembak dan Berburu Seluruh Indonesia (PERBAKIN) di wilayah Surabaya, Sidoarjo, dan Mojokerto mencapai 3.650 orang. Kondisi ini berdampak langsung pada tingginya permintaan Peluru Senapan Angin (PSA) atau proyektil, yang beredar di pasaran dalam dua kategori utama, yakni produk lokal dan produk impor.

Produk lokal memiliki keunggulan dari sisi harga yang lebih ekonomis, namun kelemahan pada aspek konsistensi dimensi dan presisi. Sebaliknya, produk impor unggul dalam kualitas bentuk dan berat yang seragam, tetapi memiliki harga relatif tinggi. Dalam konteks kompetisi, mayoritas pengguna memilih proyektil impor karena performanya yang lebih stabil, dengan harga mencapai Rp180.000–Rp270.000 per 250 butir, jauh di atas proyektil lokal yang berkisar Rp70.000–Rp120.000 per ±800 butir.

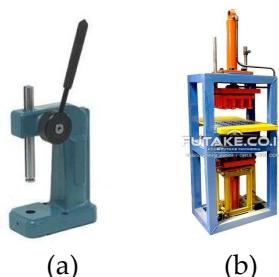
Proses manufaktur proyektil di industri rumahan umumnya dilakukan melalui tiga metode, yaitu cor (*casting*), gulung (*rolling*), dan pres (*pressing*). Metode pres dinilai lebih unggul karena mampu menghasilkan dimensi, bentuk, dan berat yang lebih akurat, serta permukaan yang lebih halus. Namun demikian, alat pres yang beredar saat ini masih mengandalkan sistem manual, memerlukan beberapa tahapan proses seperti pemotongan sisa material secara terpisah, serta belum didesain secara ergonomis. Kondisi ini mengindikasikan adanya kesenjangan antara kebutuhan industri rumahan akan alat pres yang presisi, efisien, dan ergonomis dengan ketersediaan teknologi yang ada.

Penelitian ini dilakukan untuk merancang dan membangun alat *press moulding* proyektil *slug* dengan pendekatan metode Ulrich secara sistematis, yang mengintegrasikan analisis kekuatan struktur menggunakan *Finite Element Analysis* (FEA) dan evaluasi ergonomi dengan metode RULA. Penelitian ini bertujuan menghasilkan alat pres yang mampu memproduksi proyektil *slug* dengan tingkat presisi tinggi, meningkatkan efisiensi waktu produksi dibandingkan metode manual, serta memiliki biaya produksi yang terjangkau.

TINJAUAN PUSTAKA

(A) Alat Press

Mesin pres adalah peralatan mekanis yang menghasilkan gaya tekan untuk membentuk, memotong, atau memodifikasi material, terutama logam, dan banyak digunakan dalam industri manufaktur (Syaukani et al., 2021). Berdasarkan sistem penggeraknya, alat pres dibedakan menjadi pres manual dan pres hidrolik. Pres manual dioperasikan menggunakan tenaga manusia dengan mekanisme tuas atau roda tekan, memanfaatkan prinsip *leverage* untuk memperbesar gaya (Saputra et al., 2020). Kelebihannya adalah sederhana dan murah, namun kapasitas dan presisinya terbatas. Sebaliknya, pres hidrolik bekerja berdasarkan hukum pascal dengan memanfaatkan tekanan fluida untuk menghasilkan gaya tekan besar dan presisi tinggi.



Gambar 1. (a) Alat Pres Manual, (b) Alat Pres *Hydraulic*

(B) Jenis Proyektil

Proyektil senapan angin umumnya terbuat dari timah, logam lunak dengan massa jenis $11,3 \text{ g/cm}^3$ yang memiliki kemampuan mempertahankan energi pada jarak tembak lebih jauh dibandingkan material non-timah (Sinaga, 2023). Berdasarkan bentuk dan fungsi, proyektil terbagi ke dalam beberapa jenis, yaitu *dome*, *wadcutter*, *pointed*, *hollow point*, dan *slug*. Jenis proyektil *slug* menjadi fokus penelitian ini karena memiliki bentuk padat dan aerodinamis, sehingga mampu memberikan akurasi tinggi dan daya tembak optimal pada jarak jauh. Karakteristik fisiknya membuat *slug* lebih stabil dibandingkan proyektil konvensional, namun memerlukan proses manufaktur yang presisi agar konsistensi bentuk dan berat dapat terjaga.



Gambar 2. Proyektil *Slug*

(C) Moulding

Cetakan (*mold*) merupakan suatu alat atau *tool* yang digunakan untuk membentuk *part* sesuai dengan desain yang kita inginkan (bentuk dan dimensi). Definisi lainnya, cetakan (*mold*) merupakan suatu rongga yang memiliki bentuk tertentu (sesuai *design*), pada proses pembentukan plastik dengan metode *injection molding* perlu dibuat suatu cetakan. Cetakan adalah bagian terpenting untuk mencetak plastik karena bentuk benda plastik tergantung dari bentuk cetakan. Untuk pembuatan cetakan pada *injection molding*, cukup banyak sekali faktor yang perlu diperhatikan dalam mendesain cetakan tersebut, supaya cetakan yang telah didesain dan yang nantinya setelah dilakukan proses manufaktur dapat menghasilkan produk yang sempurna (Siregar et al., 2018).

(D) Metode Ulrich

Metode Ulrich merupakan pendekatan sistematis dalam perancangan dan pengembangan produk, dimulai dari analisis kebutuhan pasar hingga tahap produksi, distribusi, dan penyerahan produk kepada konsumen. Tujuan utama metode ini adalah memastikan kesesuaian produk dengan kebutuhan pelanggan, mempertahankan efisiensi biaya, dan menjamin keberlanjutan keuntungan bagi produsen. Keberhasilan pengembangan produk diukur dari kemampuannya memenuhi spesifikasi yang diinginkan konsumen dengan harga kompetitif dan kualitas yang konsisten.

Proses pengembangan produk menurut Ulrich terdiri dari enam fase utama:

- (1) Perencanaan (*Planning*)
- (2) Pengembangan Konsep (*Concept Development*)
- (3) Perancangan Tingkat Sistem (*System-Level Design*)
- (4) Perancangan Rinci (*Detail Design*)
- (5) Pengujian dan Perbaikan (*Testing and Refinement*)
- (6) Peningkatan Produksi (*Production Ramp-up*)

Tahapan ini didukung oleh langkah teknis seperti penyusunan daftar kebutuhan, penetapan spesifikasi teknis, penyusunan dan pemilihan konsep menggunakan matriks penilaian, serta pengembangan desain akhir. Metode ini memfasilitasi pengambilan keputusan berbasis data, integrasi tim multidisiplin, dan pengurangan risiko kegagalan produk di pasar (Pambudi, 2024).

Dalam konteks penelitian ini, metode Ulrich dipilih karena kemampuannya mengarahkan proses desain alat *press moulding* proyektil *slug* secara terstruktur, mulai dari identifikasi kebutuhan ergonomi dan kekuatan, evaluasi konsep berdasarkan kriteria teknis dan biaya, hingga perwujudan desain final yang siap diproduksi.

(E) *Finite Element Method (FEM)*

Metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*) merupakan teknik analisis numerik yang banyak digunakan dalam rekayasa untuk menyelesaikan permasalahan kompleks, mulai dari mekanika struktur hingga aliran fluida, dengan tingkat efisiensi dan akurasi yang tinggi (Bathe, 2014). Proses analisis FEM dimulai dengan penyederhanaan permasalahan fisik menjadi model matematika, dilanjutkan dengan pemodelan geometri (*geometry modeling*), pembangkitan elemen (*meshing*), penentuan sifat material (*material properties*), serta penetapan kondisi batas, awal, dan pembebanan (*boundary, initial, and loading conditions*). Analisis ini memungkinkan evaluasi kekuatan, deformasi, serta respon material secara realistik melalui simulasi berbantuan komputer, sehingga membantu perancang memvalidasi desain sebelum proses manufaktur (Awwaluddin, 2013).

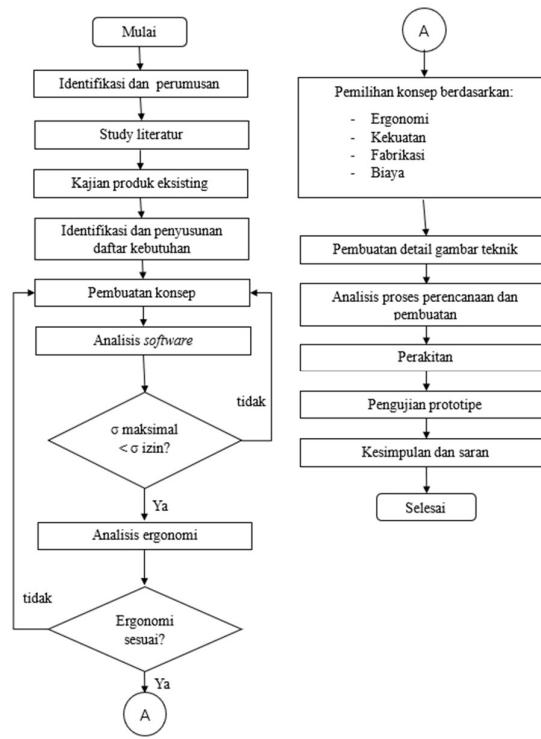
(F) *Analisis Ergonomi*

Ergonomi merupakan disiplin ilmu yang mempelajari interaksi manusia dengan sistem kerja untuk mengoptimalkan kinerja serta meminimalkan risiko penyakit akibat kerja dan kecelakaan (Sukamdani et al., 2016). Salah satu metode analisis ergonomi yang umum digunakan adalah *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA), yang dikembangkan oleh McAtamney dan Corlett pada 1993 di Nottingham, Inggris, untuk menilai postur tubuh bagian atas, gaya, dan gerakan yang berpotensi menimbulkan cedera (Briansah, 2018). Metode ini mempertimbangkan faktor risiko seperti postur tidak alami, posisi statis, gerakan berulang, penggunaan gaya berlebih, kontak tubuh dengan peralatan, metode kerja, dan durasi kerja (McAtamney & Corlett, 1993). Penilaian dilakukan melalui tiga tahap, yaitu evaluasi postur tubuh (kelompok A: lengan dan pergelangan tangan; kelompok B: leher, punggung, dan kaki), penggabungan hasil kedua kelompok, dan perhitungan skor total. Skor RULA berkisar 1–7, di mana skor tinggi menunjukkan tingkat risiko ergonomi yang memerlukan tindakan korektif segera. Nilai tingkat risiko cedera dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Tingkat Risiko Cedera

Dibebankan	Keterangan
1 dan 2	Diterima selama tidak dijaga atau berulang untuk waktu yang lama.
3	Diterima namun dibutuhkan penyelidikan lebih jauh.
4	Dibutuhkan penyelidikan lebih jauh dan mungkin saja perubahan diperlukan.
5 dan 6	Dibutuhkan penyelidikan dan perubahan segera.
7	Dibutuhkan penyelidikan dan perubahan sesegera mungkin (mendesak).

Sumber: McAtamney & Corlett, 1993

METODE**Gambar 3.** Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini diawali dengan observasi terhadap alat pres proyektil *slug* skala rumahan yang masih menggunakan poros eksentrik dan *moulding* manual sehingga kurang efisien. Kajian literatur dilakukan terkait prinsip desain alat pres, pemilihan material, ergonomi, kemudahan manufaktur, metode perancangan Ulrich, analisis kekuatan dengan FEA, serta analisis ergonomi metode RULA, disertai studi produk eksisting. Berdasarkan observasi dan wawancara dengan 10 pengguna, disusun kebutuhan alat yang kemudian dikembangkan menjadi tiga alternatif konsep desain menggunakan Autodesk Fusion 360 dengan pertimbangan presisi, kemudahan manufaktur, ergonomi, dan efisiensi. Ketiga konsep dianalisis menggunakan ANSYS dan CATIA, lalu dipilih konsep terbaik berdasarkan kriteria bahan, sistem kerja, keamanan, dan kenyamanan. Konsep terpilih diwujudkan dalam *detail engineering*

drawing, diproduksi melalui *machining* dan perakitan manual, kemudian diuji untuk memverifikasi fungsi, presisi, serta efisiensi dibandingkan alat pres eksisting, dengan evaluasi dan perbaikan dilakukan bila ditemukan kendala.

HASIL DAN PEMBAHASAN

(A) Produk Eksisting

Produk banding pada penelitian ini adalah alat *press moulding* proyektil *slug* yang umum digunakan oleh produsen skala rumahan. Alat ini memiliki dimensi tinggi 300 mm, lebar 100 mm, alas 200x200 mm, berat 2 kg, berbahan *steel*, dan dijual sekitar Rp1.450.000. Keunggulannya adalah harga relatif terjangkau dengan konstruksi sederhana, namun kelemahannya terletak pada presisi hasil cetakan karena proses pemotongan sisa timah masih dilakukan manual, sehingga waktu produksi menjadi lebih lama dan dimensi proyektil kurang konsisten. Analisis kekuatan menggunakan Autodesk Fusion 360 menunjukkan *safety factor* minimum 0,9395 (<1,5) dan tegangan maksimum 1,073 MPa, yang masih di bawah tegangan izin 138 MPa. Berat total rangka dari analisis adalah 6,901 kg.



Gambar 4. Produk Eksisting

Tabel 2. Spesifikasi Produk Eksisting

Aspek	Spesifikasi Produk Existing
Tinggi	300 mm
Lebar	100 mm
Lebar bagian bawah	200x200 mm
Berat	2 kg
Jenis material	Steel
Harga	Rp 1.450.000

(B) Konsep Desain

Pada penelitian ini dikembangkan tiga alternatif konsep desain alat *press moulding* proyektil *slug* yang dibandingkan dengan desain produk eksisting. Seluruh konsep dirancang berdasarkan daftar kebutuhan produk, mempertimbangkan aspek presisi, efisiensi, kemudahan manufaktur, dan ergonomi.

(1) Konsep Desain 1

Pada konsep desain 1 menggunakan mekanisme tuas *jungkat-jungkit* dengan dua lengan sebagai poros gerak. Material rangka utama adalah pelat baja tebal 50 mm, *holder* cetakan menggunakan pelat 12 mm, dan lengan menggunakan pelat 7 mm dengan rumah *bearing* berdiameter 22 mm. *Moulding* berbahan *stainless steel* dilengkapi lubang pembuangan sisa timah otomatis sekali tekan. Pegangan tuas

menggunakan besi as 16 mm dengan *handle* kayu. Sistem ini menghilangkan kebutuhan pemotongan sisa material secara manual sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Konsep Desain 1

(2) Konsep Desain 2

Konsep desain 2 memiliki prinsip kerja serupa dengan konsep 1, namun menggunakan material yang lebih ekonomis dan mudah diproduksi. Rangka utama terbuat dari pelat 16 mm, *holder* dari pelat 10 mm, dan pengengkol dari pelat 7 mm. Tuas menggunakan besi as 12 mm dengan *handle* kayu. *Moulding* tetap menggunakan *stainless steel* dengan sistem pembuangan sisa timah otomatis. Konsep desain 2 dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Konsep Desain 2

(3) Konsep Desain 3

Menerapkan sistem pres vertikal, di mana tuas ditekan dari atas ke bawah untuk mendorong penekan ke *moulding* yang terkunci pada pelat alas. Rangka menggunakan pelat 16 mm, engsel tuas dari pelat 10 mm, dan tuas dari pipa diameter 25 mm. *Moulding* berbahan *stainless steel* memiliki lubang pembuangan sisa timah berdiameter 1 mm. Konsep desain 3 dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Konsep Desain 3

(C) Pemilihan Konsep Desain

(1) Ergonomi

Analisis ergonomi dilakukan menggunakan perangkat lunak CATIA dengan metode *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) untuk menilai postur tubuh operator ketika mengoperasikan tuas dalam dua posisi utama, yaitu tuas naik (*up position*) dan tuas turun (*down position*). Hasil analisis dan skor ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Skor Analisis Ergonomi

<i>Position</i>	<i>Design 1</i>	<i>Design 2</i>	<i>Design 3</i>
<i>Up</i>	3	3	3
<i>Down</i>	3	3	3
<i>Total Score</i>	1	1	1

(2) Analisis Kekuatan

Aspek kekuatan merupakan faktor krusial dalam menentukan kelayakan desain alat pres proyektil *slug*. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak Autodesk Fusion 360 dengan material rangka ASTM A53. Tegangan izin dihitung berdasarkan persamaan:

Di mana:

σ_{izin} : tegangan yang diizinkan (MPa)

σ_y : tegangan luluh (MPa)

SF : safety factor

k : faktor koreksi material (1)

Dengan demikian, nilai tegangan maksimum atau tegangan yang diizinkan pada rangka dapat dihitung sebagai berikut:

$$\sigma_{ijin} = \frac{240}{1.5} = 160 \text{ MPa}$$

Beban simulasi diasumsikan sebesar 30 kg dengan gaya tekan:

Di mana:

F : gaya

m : massa

g : percepatan gravitasi (9.8 m/s^2)

Dengan demikian:

$$F = 30 \times 9.8 = 294 \text{ N}$$

Hasil perhitungan ini digunakan sebagai dasar dalam simulasi kekuatan struktur rangka menggunakan *software* Autodesk Fusion 360 versi pelajar. Hasil analisis kekuatan dan skor ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Skor Analisis Kekuatan

Criteria	Design 1	Design 2	Design 3
Max Allowable Stress (Mpa)	0,506	1,456	0,372
Displacement (mm)	0,004	0,003	0,005
Safety Factor	15,00	15,00	15,00
Total Score	3	2	1

Hasil simulasi menunjukkan bahwa ketiga konsep desain mampu menahan beban dengan nilai tegangan maksimum jauh di bawah batas tegangan izin. Hal ini membuktikan bahwa secara struktural, seluruh konsep aman untuk digunakan.

(3) Proses Manufaktur

Penilaian konsep desain alat pres proyektil *slug* salah satunya ditinjau dari aspek manufaktur, yaitu kemudahan dan kecepatan proses produksi. Analisis dilakukan

dengan membandingkan tiga alternatif desain yang telah dirancang, dimana setiap komponen utama dievaluasi terhadap kebutuhan mesin, tingkat kesulitan, serta waktu pengerjaan. Kriteria yang digunakan mengacu pada tingkat kemudahan (*ease of manufacturing*) dan kecepatan proses (*manufacturing time*), dengan rentang skor 1–4 sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Skor Analisis Manufaktur

Skor	Keterangan Aspek Kemudahan	Keterangan Aspek Kecepatan
1	Sulit	Lama
2	Cukup Sulit	Cukup Lama
3	Mudah	Cepat
4	Tidak Membutuhkan Proses Manufaktur	Tidak Membutuhkan Proses Manufaktur

Tabel 6. Skor Analisis Manufaktur Konsep 1, 2, dan 3

Proses Manufaktur	Konsep 1		Konsep 2		Konsep 3	
	Proses	Skor	Proses	Skor	Proses	Skor
Bodi utama	Sulit dan Cukup Lama	3	Mudah dan Cepat	6	Mudah dan Cepat	6
Moulding	Cukup Sulit dan Cukup Lama	4	Cukup Sulit dan Cukup Lama	4	Sulit dan Cukup Lama	3
Tuas/setang	Mudah dan Cepat	6	Mudah dan Cepat	6	Mudah dan Cepat	6
Lengan	Mudah dan Cukup Lama	6	Mudah dan Cukup Lama	6	Mudah dan Cukup Lama	6
Pengengkol	Mudah dan Cukup lama	8	Mudah dan Cukup lama	8	Mudah dan Cukup lama	8
Dudukan	Mudah dan Cepat	6	Mudah dan Cepat	6	Mudah dan Cepat	6
Total Skor	33		36		35	

Hasil analisis manufaktur menunjukkan bahwa konsep desain 2 memperoleh skor tertinggi yaitu 36. Konsep 2 unggul karena sebagian besar komponen utamanya, seperti bodi, lengan, tuas, dan dudukan, dapat diproduksi menggunakan peralatan standar (mesin gerinda, bor, las, bubut) dengan tingkat kesulitan rendah serta waktu pengerjaan relatif cepat.

(4) Biaya

Aspek biaya merupakan salah satu pertimbangan utama dalam pemilihan konsep desain alat *press moulding* proyektil *slug*. Estimasi biaya dihitung berdasarkan kebutuhan material, komponen pendukung, serta biaya manufaktur yang berlaku di pasaran. Hasil perhitungan untuk ketiga konsep desain dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Estimasi Biaya Pembuatan

Konsep Desain	Estimasi Biaya (Rp)
Konsep 1	1.708.000

Konsep 2	1.248.000
Konsep 3	1.718.000

Dari hasil estimasi biaya, terlihat bahwa konsep 2 memiliki biaya paling rendah, yaitu Rp1.248.000. Perbedaan biaya ini dipengaruhi oleh jenis material yang digunakan serta kompleksitas proses manufaktur, khususnya pada kebutuhan jasa bubut dan pengelasan.

(5) Konsep Terpilih

Pemilihan konsep desain dilakukan dengan metode matriks keputusan berdasarkan tiga kriteria utama yang mana bobot kriteria ditunjukkan. Selanjutnya kita dapat melakukan penilaian konsep dari ketiga konsep desain yang telah dibuat sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Penilaian Konsep Desain Berdasarkan Bobot Kriteria Seleksi

Kriteria Seleksi	Bobot	Matriks Penilaian Konsep							
		Konsep Produk dan Referensi							
		Konsep 1		Konsep 2		Konsep 3		Referensi	
		Rate	Skor	Rate	Skor	Rate	Skor	Rate	Skor
Ergonomi	35%	2	0,5	2	0,5	2	0,5	3	0,75
Manufaktur	35%	3	0,6	3	0,6	4	0,8	3	0,6
Biaya	30%	3	0,6	4	0,8	5	1	3	0,6
Nilai Absolut		12	3,1	13	3,3	16	4,05	12	3
Nilai Relatif (%)		22,6	23	24,5	24,5	30,2	30,1	22,6	22,3
<i>Ranking</i>		3		2		1		4	

(D) Prototipe

Proses fabrikasi alat pres proyektil *slug* dilakukan melalui beberapa tahap, dimulai dari persiapan peralatan seperti mesin bubut, mesin las, mesin gerinda, mesin bor, mesin *frais*, dan alat ukur. Pembuatan komponen utama meliputi bodi dari pelat baja 16 mm yang dipotong sesuai *marking*, bagian pengengkol dari pelat 7 mm yang dibentuk dan dilas, dudukan dari pelat 10 mm yang diberi lubang dengan mesin bor, serta tuas dari besi as berdiameter 12 mm yang dibengkokkan, diberi ulir, dan dipasang pegangan. Selanjutnya dibuat lengan dari pelat 7 mm dengan lubang 22 mm serta komponen *moulding* dari baja tahan karat yang dibentuk menggunakan mesin bubut. Setelah semua komponen selesai, dilakukan perakitan dengan menggabungkan bodi, dudukan, lengan, pengengkol, *bearing*, dan *moulding* menggunakan sambungan las, baut, serta as sebagai poros gerak, kemudian dilanjutkan pemasangan tuas. Tahap akhir adalah pengecatan menggunakan metode semprot, diawali dengan lapisan *epoxy* sebagai dasar, lalu dilanjutkan dengan cat warna hitam *doff* untuk memberikan perlindungan dari korosi sekaligus meningkatkan estetika alat. Detail prototipe dapat dilihat pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. Prototipe Konsep Desain Terpilih

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis, perancangan dan pembuatan alat *press moulding* proyektil *slug* dengan metode Ulrich, dilengkapi simulasi kekuatan menggunakan Autodesk Fusion 360 dan evaluasi kriteria teknis meliputi ergonomi, kekuatan, kemudahan fabrikasi, dan biaya, telah menghasilkan desain optimal yang sesuai kebutuhan industri rumahan. Dari tiga konsep desain yang dikembangkan, konsep desain kedua terpilih sebagai solusi terbaik dengan biaya produksi total Rp1.318.000 dan layak dipasarkan pada kisaran harga Rp2.500.000. Uji coba menunjukkan kemampuan memproduksi 100 butir proyektil *slug* dalam 40 menit, lebih efisien 42,8% dibandingkan alat pres eksisting yang membutuhkan 70 menit untuk jumlah yang sama. Peningkatan ini membuktikan bahwa alat yang dikembangkan mampu memenuhi target presisi, kualitas, dan produktivitas, sehingga berpotensi memperkuat daya saing produk lokal terhadap impor. Sebagai rekomendasi, penelitian ini dapat dijadikan referensi pengembangan lebih lanjut, termasuk penambahan meja portabel untuk fleksibilitas penggunaan, integrasi sistem otomatis guna meningkatkan kapasitas produksi dan mengurangi beban operator, serta adaptasi teknologi ini pada skala industri yang lebih besar.

REFERENSI

- Awwaluddin, M. (2013). Analisis Tegangan Statik Dan Dinamik Pada Perancangan Dan Pengembangan Struktur Bodi Monorail Produksi Pt. Mbw Menggunakan Finite Element Analysis (Ansys).
- Bathe, K. J. (2014). Frontiers in Finite Element Procedures & Applications. *Massachusetts Institute of Technology Cambridge, MA 02139, USA*.
- Briansah, A. O. (2018). Analisa Postur Kerja Yang Terjadi Untuk Aktivitas Dalam Proyek Konstruksi Bangunan Dengan Metode Rula Di Cv.Basani.
- Fauzi, M. N. (2024). Karakterisasi Material Tabung Senapan Angin Produksi Lokal Dan Impor Material Characterization Of Local And Imported Air Rifle Tubes SKRIPSI.
- Gafin, M. (2020). Optimisasi Kekuatan Ban Airless Pada Balance Bike Dengan Variasi Desain Geometri Ban Airless Menggunakan Metode Elemen Hingga.
- Iremonger, M. (1990). *Dasar Analisis Tegangan*.
- Khurmi, R. S., & Gupta, J. K. (2005). [A Textbook for the Students of machine design. In *Engg. Services*.
- Kosasih, D. P. (n.d.). Pengujian Balistik Peluru Senapan Angin Lokal dan Peluru Senapan Angin Impor Kaliber. 177/4,5 mm. *Mesa Jurnal Fakultas Teknik Universitas Subang*.

- McAtamney, L., & Corlett, E. N. (1993). RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*. 24(2), 91–99. Doi:10.1016/0003-6870(93)90080-s
- Pambudi, M. A. (2024). *Perancangan Mesin Penghalus Tanah Liat dan Pencetak Bata Merah Press MRH Khusus Industri Rumahan* (Doctoral dissertation, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya).
- Saputra, A., Widanarti, I., & Mangera, Y. (2020). Rancang Bangun Alat Pres Konvensional Untuk Parutan Ubi Kayu Skala Industri Rumah Tangga *Design of a Conventional Press Tool for Home Industry Scale Cassava Grate*. 3(1), 16–22. <https://ejournal.unmus.ac.id/index.php/ae/index>
- Sinaga, M. (2023). Kaji Eksperimental Alat Pencetak Peluru Senapan Angin Jenis Aerodinamis Sistem Manual Kapasitas 1 Butir / L Menit.
- Siregar, R. A., Ahmad, D., & Rangkuti, R. (2018). Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi Pembuatan Cetakan Kotak Sabun Pada Mesin Injection Molding Plastik. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*. 1(1), 57–63. Doi:10.30596/rmme.v1i1.2436
- Sugita, I. W., & Dzaky, M. A. A. (2017). Analisis Geometri Peluru Terhadap Nilai Drag Coefficient Pada Kecepatan 304,8 M/S.
- Sukamdani, H. B., Kusnadi, E., & Sulistyadi, K. (2016). Analisa Ergonomi Berdasarkan Praktikum Laboratorium Di Teknik Industri-Usahid Dan Penerapan Ergonomi Di Industri Garment. *Gaung Informatika*. 9(3), 174–186. Universitas Sahid Surakarta.
- Syaukani, M., Paundra, F., Qalbina, F., Dwi Arirohman, I., & Yunesti, P. (2021). *Desain dan Analisis Mesin Press Komposit Kapasitas 20 Ton*.
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2015). Product Design and Development. 6th ed. McGraw-Hill, 6–6.
- Usman, & Muhtadin. (2019). Desain, Perancangan dan Uji Alat Press Hydraulic Dengan Kondisi Tekanan 300 Kg/m² Untuk Menghasilkan Minyak Kelapa. *Jurnal Ristech*, 2–2.