



Fabrikasi Profil Siku Baja Penyangga Rak Dinding Ukuran 150x150x0,5mm, Kapasitas 40 Biji/Jam

Farhan Alif Hidayatulloh¹, Syamsul Hadi^{2*}, Diandra Satria Pangestu³, Ahmad Faisal⁴,
Tabing Kautsar Alhidayat⁵, Viqo Andrean Maulana⁶

^{1,3,4,5,6}Program Studi Diploma IV, Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

²Program Studi Doktor Terapan Optimasi Desain Mekanik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Email: farhanalifhidayatulloh@gmail.com¹, syamsul.hadi@polinema.ac.id², satriatzy56@gmail.com³,
ahmadfaisalya7@gmail.com⁴, tabingkautsaralhidayat@gmail.com⁵, vickoandreas24@gmail.com⁶,

*Penulis Korespondensi: syampol2003@yahoo.com

Abstract. *The weak and less rigid profile of the shelf support elbow on the supporting wall with dimensions of the two elbows 15 cm long, 3.5 cm wide, 0.5 mm thick from low carbon steel is the problem faced. The purpose of fabrication is to obtain a shelf support elbow profile with dimensions of the two elbows 15 cm long, 3.5 cm wide, 0.5 mm thick from low carbon steel that is strong and stiff enough. The manufacturing method includes: design of the shelf support elbow profile, selection of 0.5 mm thick plate from low carbon steel, precision cutting (shearing) measuring 30 cm long, 3.5 cm wide, bending at a 90o angle with a V-die press brake machine, forming a 3 mm radius reinforcing groove for the 90o angle, drilling 6 holes with a diameter of 3.5 mm, finishing and painting, and quality and dimension inspection. The fabrication results are in the form of a shelf support angle profile on a supporting wall with dimensions of 15 cm in length for both angles, 3.5 cm in width, 0.5 mm in thickness from low carbon steel that can withstand a load of 2 kg, a total production cost of IDR 14,000/unit, a production process duration of 1.5 minutes/unit which implies that the shelf support angle profile is able to withstand vertical loads with 3 steel screws with a diameter of 3 mm x 35 mm.*

Keywords: 6 Hole Drilling; Low Carbon Steel; Shelf Support Angle Profile; Support Wall; V-Die Press Brake.

Abstrak. Tidak kuat dan kurang kakunya profil siku penyangga rak pada dinding penopang berdimensi panjang kedua penyikunya 15 cm, lebar 3,5 cm, tebal 0,5 mm dari baja karbon rendah (*low carbon steel*) sebagai permasalahan yang dihadapi. Tujuan fabrikasi untuk memperoleh profil siku penyangga rak berdimensi panjang kedua penyikunya 15 cm, lebar 3,5 cm, tebal 0,5 mm dari baja karbon rendah yang cukup kuat dan cukup kaku. Metode pembuatan meliputi: desain profil siku penyangga rak, pemilihan pelat tebal 0,5 mm dari baja karbon rendah, pemotongan presisi (*shearing*) berukuran panjang 30 cm, lebar 3,5 cm, pembengkokan sudut 90° dengan mesin *V-die press brake*, pembentukan alur lekukan penguat beradius 3 mm untuk sudut siku 90°, pengeboran 6 lubang berdiameter 3,5 mm, *finishing* dan pengecatan, dan pemeriksaan mutu dan dimensi. Hasil fabrikasi berupa profil siku penyangga rak pada dinding penopang berdimensi panjang kedua penyikunya 15 cm, lebar 3,5 cm, tebal 0,5 mm dari baja karbon rendah yang tahan beban 2 kg, total biaya produksi Rp 14.000/unit, durasi proses produksi 1,5 menit/unit yang berimplikasi bahwa profil siku penyangga rak mampu menahan beban vertikal dengan penahan 3 sekrup baja berdiameter 3 mm x 35 mm.

Kata Kunci: Baja Karbon Rendah; Dinding Penopang; Pengeboran 6 Lubang; Profil Siku Penyangga Rak; *V-Die Press Brake*.

1. LATAR BELAKANG

Perkembangan industri manufaktur skala kecil hingga menengah saat ini menuntut adanya proses produksi yang efisien, cepat, dan ekonomis, terutama pada pembuatan komponen berbahan plat tipis untuk profil siku penyangga rak. Proses fabrikasi profil siku dengan ketebalan 0,5 mm sering menghadapi kendala untuk deformasi bahan, tidak tepatan dimensi, dan rendahnya produktivitas akibat metode produksi yang masih manual atau semi-manual.

Profil Siku, yang berbentuk sudut siku, sering digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi, untuk penyangga rangka, kedudukan suatu alat, atau komponen mesin. Untuk mengakomodasi berbagai kebutuhan spesifik tersebut, komponen tersebut diproduksi dengan variasi bahan yang luas, mulai dari baja karbon rendah untuk konstruksi umum hingga stainless steel yang menawarkan ketahanan korosi tinggi untuk aplikasi permesinan. Tantangan teknis muncul pada pemilihan bahan dengan ketebalan 0,5 mm. Kita cenderung kesulitan dalam memilih profil bahan yang efektif dan efisien dalam memikul beban (Tuwanakotta & Paa, 2022). Meskipun penggunaan pelat tipis mampu mereduksi biaya bahan dan berat keseluruhan produk, ketebalan tersebut sangat rentan terhadap fenomena *spring back* (pemegasan kembali) setelah proses pembengkokan (*bending*). Selain hal tersebut, profil dengan dimensi tinggi 15 cm dan lebar 15 cm memerlukan kekakuan yang cukup agar tidak mengalami defleksi saat dibebani.

Pembentukan logam lembaran (*sheet metal*) merupakan disiplin teknik yang sangat penting. Beberapa metode untuk *bending*, *blanking*, *piercing*, *shearing*, *stamping*, *folding* dan *flanging* digunakan untuk memproduksi komponen logam lembaran menggunakan mesin dan alat (Janatama & Rizkia, 2023). Bidang manufaktur juga menekankan pentingnya optimasi proses fabrikasi untuk meningkatkan mutu produk dan kapasitas produksi. Selain hal tersebut, penggunaan metode sederhana, namun efektif pada industri kecil menjadi fokus utama, mengingat keterbatasan biaya investasi pada mesin otomatis. Analisis tersebut bertujuan untuk memperoleh desain dan pengembangan proses fabrikasi profil siku penyangga rak dengan ketebalan 0,5 mm. Analisis mutu hasil fabrikasi berdasarkan dimensi (tinggi 15 cm dan lebar 15 cm). Evaluasi kapasitas produksi yang dicapai, yaitu 40 biji/jam dan identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi dan mutu proses fabrikasi.

2. KAJIAN TEORITIS

Fabrikasi logam lembaran (*sheet metal fabrication*) merupakan proses manufaktur yang melibatkan pemotongan, pembentukan, dan perakitan bahan logam berbentuk lembaran menjadi produk tertentu. Proses tersebut banyak digunakan karena efisiensi bahan, kemudahan pembentukan, dan kemampuan menghasilkan produk dalam jumlah besar.

Proses pembentukan lembaran-logam digunakan untuk produksi serial dan massal. Karakteristik mereka adalah: produktivitas tinggi, penggunaan bahan yang sangat efisien, kemudahan servis mesin, kemampuan mempekerjakan pekerja dengan keterampilan dasar yang relatif kurang, dan aspek ekonomi menguntungkan lainnya (Hermani & Muhtar, 2022). Karakteristik tersebut membuktikan bahwa rekayasa pembentukan pelat menawarkan solusi

manufaktur yang sangat kompetitif melalui integrasi antara efisiensi bahan, produktivitas tinggi, dan optimalisasi struktur biaya operasional.

Dalam kajian mekanika bahan, proses pembentukan logam lembaran didasarkan pada prinsip deformasi plastis, yaitu perubahan bentuk permanen yang terjadi ketika tegangan yang diberikan melebihi batas elastis bahan. Pada bahan tipis (≤ 1 mm), karakteristik untuk keuletan (*ductility*), kekuatan tarik (*tensile strength*), dan modulus elastisitas sangat menentukan keberhasilan proses fabrikasi. Mengetahui komposisi suatu bahan adalah faktor penting untuk meningkatkan mutu bahan yang digunakan dalam proses produksi di industri. Hal tersebut didasarkan pada prinsip bahwa komposisi kimia merupakan fondasi awal yang mengendalikan pembentukan fase mikrostruktur, yang pada akhirnya mendikte karakteristik mekanis makro untuk kekuatan tarik, kekerasan, dan ketangguhan paduan logam.

Baja karbon rendah merupakan jenis logam yang banyak digunakan. Penggunaan baja karbon rendah banyak digunakan lebih disebabkan karena baja karbon rendah memiliki keuletan yang tinggi dan mudah di dikerjakan dengan mesin (*machining*), tetapi kekerasannya rendah dan tidak tahan aus (Syamsuir dkk., 2020). Stainless steel 304 sangat memiliki peranan yang penting dalam dunia industri yang mana banyak desain komponen dalam mesin pabrik menggunakan bahan tersebut.

Metode pemotongan (*cutting*) baja merupakan suatu proses yang digunakan untuk mengubah bentuk suatu produk dari logam (Arendi & Akhmad, 2025). Hal tersebut menunjukkan bahwa pemotongan baja bukan sekadar proses pemisahan bahan, melainkan tahapan pengondisian geometris krusial yang melandasi seluruh mutu produk akhir dalam industri manufaktur. Pemotongan sendiri merupakan sebuah proses memisahkan, mengurangi satu benda padat menjadi dua atau lebih yang terarah, memodifikasi, membentuk, dan menghilangkan bagian yang tidak diperlukan menggunakan alat potong Marjuki et al., (2024) yang banyak digunakan dalam industri, karena dapat menghasilkan mutu permukaan yang lebih baik dan sangat dekat dengan toleransi, dan sangat tepat untuk komponen desain.

Metode yang umum digunakan adalah *shearing*, yaitu pemotongan menggunakan gaya geser antara dua pisau. Alat pemotong tersebut sangat membantu dan mempercepat dalam proses pemotongan pelat dengan ukuran yang tepat (Bonardo, 2023). Proses pemotongan merupakan tahap awal dalam fabrikasi yang bertujuan untuk menghasilkan ukuran bahan sesuai desain.

Proses pembengkokan logam besi maupun non besi dinamakan dengan *bending* (Carli, 2017). Pemotongan bahan terjadi karena penekanan punch dan die diantara dua sudut potong yang diisyaratkan melebihi tegangan tarik bahan yang akan dipotong.

Dengan metode pemotongan yang berbeda, efisiensi saat memotong logam dengan ketebalan yang berbeda adalah satu di antara teknik yang paling sering digunakan (Wijaya dan Willis, 2025). Hasil pemotongan yang baik akan menghasilkan tepi yang halus dan presisi, sehingga memudahkan proses pembentukan selanjutnya dan mengurangi potensi cacat produk.

Proses *bending* merupakan pembentukan logam yang umumnya menggunakan lembaran pelat atau batang baik dari bahan logam ferro maupun logam non ferro dengan cara dibengkokkan, yang mana pada proses *bending* tersebut terjadi pemuluran atau peregangan pada sumbu bidang netral sepanjang daerah bengkakan dan menghasilkan garis bengkakan yang lurus (Suyuti et al., 2020). Karakteristik perubahan linier di sepanjang sumbu bengkak tersebut menegaskan bahwa pengerjaan *bending* memerlukan pemahaman mendalam terkait sifat elastis-plastis logam agar menghasilkan sudut yang presisi tanpa merusak integritas struktural bahan.

Pembengkokan merupakan proses pembentukan logam menggunakan alat *bending* baik secara manual atau otomatis Dini et al., (2025) yang menegaskan bahwa fleksibilitas teknologi *bending* modern memungkinkan pengerjaan profil logam secara luas, baik untuk skala bengkel fabrikasi kecil maupun industri manufaktur massal dengan tingkat akurasi yang tinggi. Rak multiguna ergonomis penggantung jaket dan helm telah didesain berdasarkan data antropometri atas ketinggian penggunaannya (Putra & Rochyat, 2017). Desain rak dan penempatannya telah disesuaikan dengan data fisik pennggunanya yang ergonomis.

Mesin pembengkok (*bending*) dapat menghemat waktu kerja dan dapat menghasilkan hasil yang lebih presisi dengan proses yang mudah, praktis, cepat dan memberikan hasil yang lebih baik dari sebelumnya (Khoryanton et al., 2021). Proses pembengkokan logam besi maupun non besi dengan mesin sangat menghemat waktu, dan mudah dilakukan.

Terjadinya pemegasan kembali pada pembengkokan pelat logam harus dicegah atau diminimalkan agar toleransi dimensi dapat memenuhi jangkauan yang diperbolehkan (Hadi et al., 2025). Bila tekanan pembengkokan dihentikan pada akhir operasi pembengkokkan, maka energi elektrik masih tersisa pada bengkakan sehingga sebagian bengkakan akan kembali ke bentuknya semula. Radius bending akhir bisa lebih rendah dari radius referensi bagian yang dikompensasi. Fenomena pemegasan kembali dalam *bending* biasanya menyumbang sejumlah besar waktu setup. Pemegasan kembali merupakan fenomena proses *metal forming* dengan metode dingin. Pemegasan kembali terjadi karena pengaruh elastisitas bahan pada saat pembentukan. Karakteristik pemegasan kembali tergantung pada jenis bahan yang digunakan. Pemegasan kembali terjadi pada semua pembentukan bahan dengan proses *bending*, *folding*, *roll forming* dan *roll bending* (Anwar et al., 2020). Variasi karakteristik tersebut sangat

dipengaruhi oleh modulus elastisitas dan tegangan luluh (*yield strength*) masing-masing jenis logam, yang mana bahan berkekuatan tinggi secara inheren menghasilkan pemulihan elastis (*elastic recovery*) yang jauh lebih masif setelah beban deformasi dilepaskan. Selain hal tersebut, fenomena pemegasan kembali menjadi satu di antara aspek penting dalam pembentukan logam tipis. Pemegasan kembali adalah kecenderungan bahan untuk kembali ke bentuk semula setelah gaya pembentuk dilepas, sehingga mempengaruhi akurasi dimensi produk akhir Aryoseno et al., (2023) yang menegaskan bahwa pengendalian distribusi tegangan sisa (*residual stress*) internal bahan merupakan kunci utama dalam menjamin mutu geometris dan toleransi produk pelat yang dihasilkan. Kompensasi sudut terkait kekuatan tarik dari bahan JSC270D, JSC340H, dan JSC590Y berturut turut yaitu $0,498^\circ$, $0,505^\circ$, dan $1,148^\circ$ sebagai toleransi pemegasan kembali yang diinginkan diterapkan pada sudut die (Dahlan, 2025). Nilai kompensasi sudut dialihkan ke sudut die sebagai toleransi akibat pemegasan kembali.

Nilai spring back dapat diperkirakan dengan rumus regresi linear sederhana yang mana penyimpangan sudutnya dipakai sebagai nilai kompensasi untuk pembuatan alat pembengkok untuk hasil yang diharapkan (Widjaya & Khairuman, 2025). Kompensasi memegas kembali diaplikasikan pada sudut peralatan pembentuknya untuk mencapai hasil yang diharapkan.

Metalurgi dan sifat mekanik dalam fabrikasi profil siku diawali dengan pemahaman terhadap struktur mikro bahan baja karbon rendah yang umumnya menjadi bahan baku utama. Struktur mikro tergantung pada proses pengerjaan yang dialami, terutama proses laku-panas yang diterima selama proses pengerjaan (Saktisahdan, 2019). Secara metalurgi, pelat dengan ketebalan 0,5 mm tersebut memiliki susunan butir kristal yang mengalami deformasi permanen saat menerima gaya tekan dari mesin pembengkok. Pada tingkat mikroskopis, proses pembengkokan tersebut memicu pergerakan dislokasi di dalam kisi kristal logam yang kemudian saling berinteraksi dan menyebabkan fenomena pengerasan regangan atau *strain hardening*. Akibat dari akumulasi dislokasi tersebut, bahan secara otomatis menjadi lebih keras dan kuat tepat di area bengkokan, meskipun keuletannya sedikit menurun. Kekuatan luluh dari bahan tersebut sangat bergantung pada ukuran butir rata-rata yang dijelaskan melalui hukum Hall-Petch. Secara teoritis, semakin kecil ukuran butir pada pelat 0,5 mm tersebut, maka semakin luas batas butir yang tersedia untuk menghambat pergerakan dislokasi, sehingga batas luluh bahan meningkat secara signifikan. Hal tersebut sangat krusial dalam fabrikasi karena besarnya batas luluh akan menentukan seberapa besar gaya tekan yang harus diberikan oleh mesin untuk membentuk siku secara presisi. Tidak konsistennya ukuran butir pada bahan baku dapat menyebabkan variasi pada hasil bengkokan, yang berpotensi menghambat target kapasitas produksi 40 biji/jam. Keberadaan fase tersebut secara berlebihan berdampak buruk

terhadap ketangguhan paduan logam. Permasalahan kekuatan dan ductility dari paduan merupakan hal yang penting diperhatikan untuk aplikasi di bidang keteknikan (Farhan et al., 2025). Keadaan tersebut hanya bisa dicapai jika ada keseimbangan yang harmonis antara kekuatan dan keuletan.

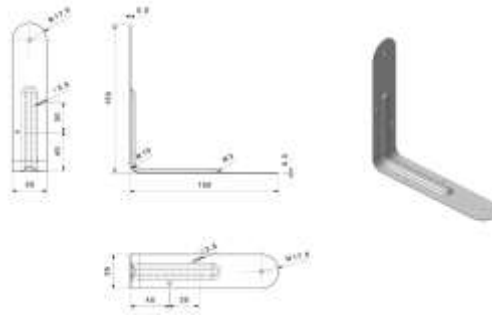
Selain aspek kekuatan, sifat mekanik berupa modulus elastisitas memainkan peran vital dalam memprediksi fenomena *springback* atau lenting kembali. Karena bahan tersebut dibengkokkan pada kondisi pengerjaan dingin, energi elastis yang tersimpan dilepaskan sesaat setelah beban mesin diangkat, sehingga sudut siku cenderung sedikit terbuka dari angka 90°. Pada bahan setipis 0,5 mm, rasio antara radius bengkokan dan ketebalan pelat yang cukup tinggi memperbesar risiko ketidakaturan dimensi tersebut. Oleh karenanya, pemahaman mendalam mengenai metalurgi fisik dan respon mekanik bahan menjadi landasan utama untuk memastikan bahwa profil siku 15 cm x 15 cm yang dihasilkan tetap memiliki stabilitas struktural dan akurasi geometri yang tinggi di bawah tekanan siklus produksi yang cepat. Kapasitas produksi merupakan jumlah output yang dihasilkan dalam satu satuan waktu, misalnya 40 biji/jam dapat ditung dengan Rumus (1).

Kapasitas produksi= 60/Waktu Siklus (menit)

Untuk memenuhi kapasitas produksi sebesar 40 unit/jam, diperlukan standarisasi alur kerja yang mampu meminimalkan *non-value added time* yang mengharuskan setiap unit diselesaikan dalam waktu siklus (*cycle time*) 90 detik, yang mencakup tahap pemotongan (*shearing*), pelubangan (*punching*), hingga pembengkokan (*bending*). Perencanaan fabrikasi yang sistematis, mulai dari pemilihan bahan baja karbon rendah yang memiliki formabilitas tinggi hingga penggunaan *jig* dan *fixture* untuk menjaga konsistensi, menjadi kunci utama dalam mencapai produktivitas tersebut tanpa mengesampingkan aspek presisi dan mutu *finishing*.

3. METODE PENELITIAN

Metode fabrikasi berkaitan dengan proses fabrikasi logam lembaran, *bending*, *spring back*, dan kapasitas produksi pada bahan baja karbon rendah yang bertujuan untuk memperoleh profil siku penyangga rak dengan spesifikasi ketebalan 0,5 mm, tinggi 15 cm, lebar 15 cm, dan kapasitas produksi 40 biji/jam dan analisis dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu desain produk, pemilihan bahan, proses fabrikasi, dan pengujian hasil produksi. Desain produk profil siku penyangga rak sebagaimana Gambar 1.



Gambar 1. Dimensi Profil Siku Baja Penyangga Rak Dinding.

Pelat baja karbon rendah (*low carbon steel/ST37*) yang mudah difabrikasi dengan komposisi kimia sebagaimana Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Bahan *low carbon steel (ST37)*.

C	Si	Mn	P	S	Fe
0,14-0,20	Maks 0,30	0,60-0,90	Maks 0,045	Maks 0,045	98,81-99,26

Pelat baja karbon rendah merupakan bahan dengan karakteristik mekanik yang ulet, mudah dibentuk yang paling banyak digunakan dalam industri manufaktur dan konstruksi umum (pembuatan profil siku, rangka, dan komponen pelat), karena memiliki kombinasi kekuatan mekanik yang memadai, ekonomis, dan sangat mudah difabrikasi. Komposisi tersebut memberikan karakteristik mekanik berupa tingkat keuletan (*ductility*) yang sangat baik dan kemudahan pengerjaan (*formability*) yang membuat ST37 sangat ideal dan responsif saat menerima deformasi plastis saat pembengkokan (*V-Bending*) tanpa risiko terjadi keretakan pada area bungkukan. Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam fabrikasi profil siku penyangga rak sebagaimana Tabel 2.

Tabel 2. Alat dan Bahan untuk Fabrikasi Profil Siku Penyangga Rak.

No.	Alat	Bahan
1	Mesin <i>Bending</i> Manual	baja karbon rendah (ST37)
2	Mesin Potong Plat	
3	Mesin Bor Duduk	
4	Alat Ukur	

Gaya pembengkokan (*bending force*) sebagaimana Rumus (2).

$$F = (K \times L \times t^2 \times \sigma) / V \dots \dots \dots (i)$$

Dengan: F: gaya pembengkokan (N), K: konstanta pembengkokan ($\approx 1,33$), L: panjang pembengkokan, t: ketebalan bahan, σ : kekuatan tarik bahan (MPa), dan V: lebar bukaan cetakan (*die*) (mm). Kompensasi sudut pemegasan kembali digunakan Rumus (3).

$$\Delta \theta = \theta_f - \theta_i \dots \dots \dots (ii)$$

Dengan: $\Delta \theta$: sudut pembengkokan, θ_f : sudut akhir setelah pembengkokan, θ_i : dan sudut akhir saat pembengkokan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kapasitas fabrikasi ditetapkan sejumlah 40 biji/jam yang setiap siklus produksi memerlukan waktu pemotongan ± 10 menit di dalam mesin potong pelat, dilanjutkan dengan pengeboran ± 30 menit dilakukan dengan mesin bor dan proses pembengkokan dilakukan ± 20 menit. Pelat baja karbon rendah setebal 0,5 mm dipotong dari lembaran besar menggunakan mesin potong mekanik. Celah potong (*clearance*) antar pisau potong diatur ketat pada rentang 5%-8% dari ketebalan bahan guna menghasilkan tepi potong yang bersih dan meminimalisir pembentukan *burr* (tonjolan tajam) yang dapat memicu retak mikro saat dibengkokkan. Setelah pelat *strip* bentangan awal dibentuk, proses pelubangan dilakukan.

Penggunaan pelat 0,5 mm memiliki risiko distorsi geometri yang tinggi akibat gaya puntir mata bor, sehingga penambahan landasan penahan (*backing pad*) di bawah pelat sangat krusial untuk menjaga kerataan permukaan di sekitar keliling lubang baut. Selanjutnya, pelat *strip* dibengkokkan dingin menggunakan mesin *bending* dengan sistem *V-die* untuk menghasilkan dimensi siku penyangga rak berukuran tinggi 15 cm dan lebar 15 cm dengan penampang profil 35 mm sesuai acuan desain.

Pembengkokan dingin pada pelat baja karbon rendah memicu kemunculan fenomena lenting kembali (*springback*) yang signifikan begitu gaya tekan dari penekan (*punch*) dilepaskan. Energi elastis yang tersimpan di dalam kisi kristal bahan baja karbon rendah menyebabkan sudut hasil pembengkokan cenderung membuka kembali melewati batas toleransi 90°.

Secara metalurgi, area deformasi plastis pada radius bengkokkan mengalami fenomena pengerasan regangan (*strain hardening*) akibat akumulasi interaksi dislokasi, yang secara lokal meningkatkan nilai kekerasan bahan, namun profil siku polos tanpa modifikasi dengan ketebalan 0,5 mm tetap memiliki kekakuan struktural (*structural stiffness*) yang rendah terhadap beban vertikal langsung, sehingga rentan mengalami cacat bengkokkan (*buckling*). Guna mengatasi kelemahan geometris tersebut, proses pembekokan diintegrasikan dengan pembentukan profil penguat siku searah pada bagian siku dalam menggunakan cetakan *punch* khusus. Penambahan profil siku terbukti memindahkan konsentrasi tegangan dari daerah sudut ke sepanjang penampang struktur.

Hasil pengujian fungsional menunjukkan bahwa penambahan struktur tersebut mampu menaikkan kekuatan bending produk secara drastis, meningkatkan kapasitas topang beban vertikal dari semula hanya < 1 kg menjadi mencapai ± 2 kg secara selamat tanpa terjadi deformasi plastis (Suryadi et al., 2016). Kesesuaian dimensi akhir spesimen terhadap batas toleransi memastikan hasil fabrikasi layak untuk diaplikasikan pada perakitan rak modular.

Seluruh hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa kombinasi pemotongan presisi dan metode pembengkokan dingin terkompensasi *overbending* dengan integrasi profil siku pada paduan pelat baja karbon rendah merupakan pendekatan yang tepat untuk menghasilkan produk siku penyangga rak bermutu tinggi pada kapasitas produksi target 40 unit/jam. Estimasi biaya dan waktu fabrikasi siku penyangga rak sebagaimana Tabel 3.

Tabel 3. Estimasi Biaya dan Waktu Fabrikasi Siku Penyangga Rak.

No.	Tahapan Proses	Biaya Produksi (Rp)	Durasi Proses (Detik)
1	Desain profil siku penyangga rak	1.000	5
2	Pemilihan pelat tebal 10,5 mm dari baja karbon rendah	7.500	5
3	Pemotongan presisi (<i>shearing</i>) berukuran panjang 30 cm, lebar 3,5 cm	500	10
4	Pembentukan alur lekukan penguat beradius ...° untuk sudut siku 90°	500	15
5	Pengeboran 6 lubang berdiameter 3,5 mm	1.500	30
6	Pembengkokan sudut 90° dengan mesin <i>V-die press brake</i>	1.000	15
7	<i>Finishing</i> dan pengecatan	1.500	5
8	Pemeriksaan mutu dan dimensi	500	5
	Jumlah	14.000	90
	Pajak 10%	1.400	
	Laba 15%	2.100	
	Total/Harga jual/unit	17.500	

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil fabrikasi profil siku penyangga rak pada dinding penopang berdimensi panjang kedua penyikunya 15 cm, lebar 3,5 cm, tebal 0,5 mm dari baja karbon rendah yang tahan beban 2 kg, total biaya produksi Rp 14.000/unit, durasi proses produksi 1,5 menit/unit yang berimplikasi bahwa profil siku penyangga rak mampu menahan beban vertikal dengan penahan 3 sekrup baja berdiameter 3 mm x 35 mm.

Saran tindak lanjut atas simpulan adalah perlunya pengembangan desain *jig* dan *fixture* yang lebih ergonomis untuk meningkatkan efisiensi kerja operator dan mengurangi kelelahan kerja pada produksi skala besar, pengujian kekuatan beban pada profil siku yang dihasilkan guna mengetahui kemampuan struktur secara lebih mendalam, penggunaan variasi ketebalan bahan dan metode pembentukan lain juga dapat diteliti untuk meningkatkan mutu dan efisiensi produksi, dapat mempertimbangkan penggunaan mesin semi otomatis atau otomatis guna meningkatkan kapasitas produksi yang lebih tinggi dan menjaga konsistensi mutu produk secara berkelanjutan.

DAFTAR REFERENSI

- Anwar, C., Rahdiana, N., & Ramadhan, A. I. (2020). Analisis pengaruh radius dies terhadap springback logam lembaran stainless-steel pada proses bending hidrolis V-die. *Jurnal Teknologi*, 12(2), 124–132. <https://doi.org/10.24853/jurtek.12.2.123-132>
- Arendi, Y. A., & Akhmad, H. A. R. (2025). Pengaruh metode pemotongan plat baja ST37 terhadap kekuatan. *Jurnal Teknik Mesin*, 14(2), 85–92.
- Aryoseno, M. A., Rahmiati, T., & Rosidi. (2023). Analisis pengaruh gaya tekan terhadap fenomena springback pada alat V-bending plat manual. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, 13(2), 1563–1570.
- ASM International. (2006). *ASM handbook, volume 14A: Metalworking—Sheet forming*. ASM International.
- Bonardo, M. (2023). Pembuatan alat pemotong plat manual. *Jurnal Teknik, Komputer, Agroteknologi dan Sains*, 2(1), 79–91. <https://doi.org/10.56248/marostek.v2i1.97>
- Carli. (2017). Hasil pemotongan press tool pemotong strip plat pada mesin tekuk hidrolis Promecam di laboratorium pemesinan. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 10(3), 86–90. <https://doi.org/10.32497/rm.v10i3.149>
- Dahlan, R. (2025). Pengaruh penyesuaian sudut terhadap desain permukaan die pada simulasi pembentukan logam pelat. *Jurnal Ismetek*, 19(2), 126–132.
- Dini, O., Saepudin, A., & Maulana, M. R. (2025). Rancang bangun alat uji bending pada plat besi menggunakan hydraulic jack kapasitas 6 ton. *Journal of Science & Engineering*, 5(1), 151–154. <https://doi.org/10.54199/pjse.v5i1.492>
- Farhan, M., Pradana, R. A., & Widodo, M. A. (2025). Pengaruh jumlah partikel SiC terhadap karakteristik material faktual dibuat melalui teknik metalurgi serbuk. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 20(1), 147–154. <https://doi.org/10.32497/jrm.v20i1.6205>
- Groover, M. P. (2020). *Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems* (7th ed.). John Wiley & Sons.
- Hadi, S., Hardjito, A., Wicaksono, H., Firmansyah, H. I., Amrullah, R. N., Permana, R. W., & Takwim, R. N. A. (2025). Minimalizing spring back of metal plates bending effect by squishing with press tool. *Engineering Science and Management*, 13(4), 373–380. <https://doi.org/10.5267/j.esm.2025.8.001>
- Hermani, B., & Muhtar, D. O. (2022). Design of roll sheet metal forming machine. *MEstro Jurnal Ilmiah*, 4(2), 32–37.
- Hosford, W. F., & Caddell, R. M. (2011). *Metal forming: Mechanics and metallurgy* (4th ed.). Cambridge University Press.
- Janatama, R., & Rizkia, V. (2023). Pengaruh jenis material logam lembaran dan radius lengkungan dies set pad dan punch terhadap hasil sudut tekuk proses U-die bending. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*, 406–415.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2014). *Manufacturing engineering and technology* (7th ed.). Pearson Education.
- Khoryanton, A., Purnomo, A., Putri, F. T., & Nashrullah, M. (2021). Penerapan teknologi mesin bending guna mempercepat proses bending pada produk gantungan ayam di PT Todda Perkasa Semarang Ampala. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(3), 417–424. <https://doi.org/10.32497/jrm.v16i3.3059>

- Marjuki, I., Ses, B., Polonia, E., & Rahmadi, H. (2024). Alat pemotong plat sistem geser. *Indonesian Journal of Mechanical Engineering Vocational*, 4(1), 8–12.
- Putra, M. A., & Rochyat, I. G. (2017). Rancang bangun rak multiguna ergonomis untuk menggantung jaket dan helm. *Jurnal Inosains*, 12(2), 42–47.
- Saktisahdan, T. J. S. (2019). Pengaruh proses heat treatment terhadap perubahan. *Jurnal Laminar*, 1(1), 28–33.
- Suryadi, R., Nugroho, S. A., & Muhandi. (2016). Pengaruh beban vertikal terhadap daya dukung lateral pondasi tiang. *JOM FTEKNIK*, 3(1), 1–9.
- Suyuti, M. A., Nur, R., & Iswar, M. (2020). Rancang bangun press tool untuk alat bending pelat tipe die-V air bending. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(1), 39–45. <https://doi.org/10.33019/jm.v6i1.1396>
- Syamsuir, Lubi, A., & Susetyo, F. B. (2020). Karakteristik sifat mekanik dan struktur mikro baja karbon sedang paska perlakuan panas tempering. *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 7(1), 1–7.
- Tuwanakotta, E., & Paa, A. R. (2022). Pengaruh bentuk profil tersusun terhadap perilaku elemen kolom baja. *Jurnal Karkasa*, 8(2), 50–56.
- Widjaja, H., & Khairuman, R. R. (2025). Analisis springback pelat ST37 dengan tegangan tarik 343 N/mm² tebal 1,98 mm pada proses V-bending dengan sudut 120°, 135°, dan 150° serta arah tekukan berlawanan grain direction pelat. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Manufaktur*, 7(1), 11–22. <https://doi.org/10.48182/jtrm.v7i1.176>
- Wijaya, D. R., & Willis, G. R. (2025). Analisa efisiensi rasio sisa potong dalam proses. *Jurnal Teknik*, 2(6), 781–785.