



IMPLEMENTASI DAN EVALUASI KINERJA *JIG WELDING* PNEUMATIK UNTUK PENINGKATAN PRODUKTIVITAS GUSSET FR

Ridho Hans Gurning^{a*}, Wita Putri Ningtyas^a, Edwin Sahrial Solih^a

^aProgram Studi Teknologi Rekayasa Otomotif, Politeknik STMI Jakarta, Jakarta 10510, Indonesia

*Corresponding authors at: ridhohans@stmi.ac.id

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 22 Januari 2026

Direvisi pada 28 Juli 2026

Disetujui pada 30 Juli 2026

Tersedia daring pada 31 Juli 2026

Kata kunci:

Tuas las JIG, pneumatik, perbaikan, kontrol kemudi, Gusset FR.

Keywords:

jig welding toggle, pneumatic, improvement, steering head, Gusset FR.

ABSTRAK

PT MWT menghadapi peningkatan target produksi komponen Gusset FR dari 400 menjadi 750 unit per 8 jam, sedangkan jig toggle manual hanya menghasilkan 400 unit. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengevaluasi *jig welding* pneumatik untuk mengurangi waktu siklus dan meningkatkan output. Metode *Engineering Design Process* mencakup identifikasi kebutuhan, desain 2D/3D, perhitungan gaya clamping, pemilihan silinder, validasi, perakitan, dan trial produksi. Jig terdiri atas empat assembly; tiga di antaranya menggunakan silinder bore 32 mm dengan stroke 100, 50, dan 20 mm. Pada tekanan 5 bar, gaya maju mencapai 401,92 N, jauh di atas kebutuhan clamping 2,167 N. Tegangan kerja struktur sebesar 1,00 MPa juga jauh di bawah tegangan luluh SS400 sebesar 245 MPa. Trial menurunkan waktu siklus dari 72 menjadi 36,7 detik per unit (49,0 %) dan meningkatkan output dari 400 menjadi 784 unit per 8 jam (96,0 %), sehingga melampaui target sebanyak 34 unit. *Jig welding* pneumatik terbukti memenuhi kebutuhan fungsional dan struktural serta meningkatkan produktivitas pengelasan Gusset FR.

ABSTRACT

PT MWT faced an increase in the production target for Gusset FR components from 400 to 750 units per 8-hour shift, while the manual toggle jig produced only 400 units. This study designed and evaluated a pneumatic welding jig to reduce cycle time and increase output. The *Engineering Design Process* covered requirement identification, 2D/3D design, clamping-force calculation, cylinder selection, validation, assembly, and production trials. The jig comprises four assemblies, three of which use 32 mm-bore cylinders with strokes of 100, 50, and 20 mm. At 5 bar, the forward force reached 401.92 N, far exceeding the required clamping force of 2.167 N. The structural working stress was 1.00 MPa, well below the 245 MPa yield strength of SS400. Trials reduced the cycle time from 72 to 36.7 s per unit (49.0 %) and increased output from 400 to 784 units per shift (96.0 %), exceeding the target by 34 units. The pneumatic welding jig met the functional and structural requirements and improved Gusset FR welding productivity.

1. PENGANTAR

Perkembangan industri manufaktur ditandai oleh semakin luasnya penerapan teknologi otomasi untuk meningkatkan kualitas, presisi, dan konsistensi produksi. Kondisi tersebut mendorong perusahaan untuk memperbaiki efisiensi proses agar mampu memenuhi permintaan pasar yang terus meningkat dan semakin kompetitif (Setiawan dkk., 2023; Nguyen dkk., 2023). Dalam industri otomotif, pengelasan merupakan salah satu proses utama dalam pembuatan rangka kendaraan karena menghasilkan sambungan yang kuat dan stabil (Ishac dkk., 2021; Sidi, 2020). Keandalan sambungan tidak hanya ditentukan oleh parameter pengelasan, seperti arus dan aliran gas pelindung, tetapi juga oleh kestabilan posisi komponen selama proses berlangsung. Ketidakstabilan posisi benda kerja dapat memicu penyimpangan geometri, porositas, dan perubahan karakteristik sambungan (Junus, 2011).

Jig welding digunakan untuk memosisikan dan menahan benda kerja secara konsisten sehingga titik pengelasan, orientasi komponen, dan jarak antarkomponen tetap sesuai dengan desain. Penggunaan jig yang tepat dapat meningkatkan repeatability, mengurangi waktu penyiapan, dan mempercepat siklus produksi (Nurhadi dkk., 2025; Sumiyanto dkk., 2020). Namun, jig konvensional yang menggunakan toggle clamp manual masih bergantung pada gaya dan kecepatan operator. Ketergantungan tersebut dapat memperpanjang waktu clamping dan unclamping, menimbulkan variasi gaya penjepitan, serta membatasi peningkatan kapasitas produksi (Hidayatulloh dkk., 2020). Oleh karena itu, mekanisme penjepitan otomatis diperlukan untuk menghasilkan gerakan yang lebih cepat, berulang, dan terkontrol.

Sejumlah penelitian telah menunjukkan bahwa penerapan *jig*, *fixture*, dan sistem otomasi dapat meningkatkan efisiensi proses manufaktur. Optimalisasi jig dan fixture mampu memperbaiki kestabilan benda kerja serta menurunkan waktu penyiapan dan pengelasan (Anam dkk., 2020; Julian dkk., 2019; Carli dkk., 2022). Penerapan alat bantu clamping pada industri komponen otomotif juga dilaporkan dapat meningkatkan konsistensi proses dan mengurangi waktu setup (Purbaningrum dkk., 2023; Purbaningrum dkk., 2024). Sistem pneumatik sesuai untuk aplikasi tersebut karena memiliki respons cepat, pengendalian sederhana, dan biaya operasi yang relatif rendah (Sofniviagi dkk., 2020; Burli dkk., 2024). Meskipun demikian, kajian yang mengintegrasikan transformasi *toggle clamp* manual menjadi sistem pneumatik, perhitungan gaya penjepitan, validasi kekuatan struktur, dan evaluasi produktivitas pada komponen rangka kendaraan roda dua masih terbatas.

PT MWT menghadapi permasalahan tersebut pada proses pengelasan komponen *Gusset FR*, yaitu komponen penguat yang menghubungkan bagian rangka jok dengan steering head pada sistem *Enhanced Smart Architecture Frame* (eSAF). *Jig welding* tipe *toggle* yang digunakan sebelumnya menghasilkan 400 unit per 8 jam kerja. Ketika permintaan pelanggan meningkat menjadi 750 unit per hari, kapasitas aktual mengalami kekurangan 350 unit atau 46,7 % dari target. Kesenjangan tersebut berpotensi menyebabkan keterlambatan pengiriman dan menurunkan keandalan pemenuhan pesanan. Dengan demikian, diperlukan perancangan ulang jig yang mampu mempercepat proses penjepitan tanpa mengurangi kestabilan posisi komponen selama pengelasan.

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan *jig welding* pneumatik untuk komponen *Gusset FR* menggunakan *Engineering Design Process* (EDP) yang mengintegrasikan desain 2D dan 3D, perhitungan gaya clamping, penentuan spesifikasi silinder pneumatik, validasi geometris, analisis tegangan struktur, dan trial pada lini produksi (Shigley dkk., 2015). Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan *jig welding* pneumatik yang memenuhi kebutuhan fungsional dan struktural, sekaligus mengevaluasi pengaruhnya terhadap waktu siklus dan output produksi.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan *Engineering Design Process* (EDP) sebagai kerangka sistematis untuk merancang ulang *jig welding* komponen *Gusset FR*, mulai dari identifikasi masalah hingga evaluasi hasil implementasi (Shigley dkk., 2015). Pendekatan ini dipilih karena menyediakan tahapan yang terstruktur dalam pengembangan alat bantu produksi, meliputi pengumpulan kebutuhan, penyusunan konsep, analisis teknis, validasi desain, pembuatan komponen, dan pengujian. Penelitian dilaksanakan di PT MWT, perusahaan manufaktur komponen otomotif yang menjalankan proses stamping dan pengelasan.

2.1 Jenis data

Data penelitian terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung terhadap proses produksi dan trial *jig welding* pneumatik. Data tersebut meliputi dimensi komponen *Gusset FR*, urutan proses pengelasan, waktu siklus, output produksi, kesesuaian pemasangan part, serta kestabilan penjepitan selama trial. Data sekunder diperoleh dari dokumen perusahaan, yang mencakup gambar produk, desain jig *toggle* sebelumnya, data waktu siklus dan output produksi awal, target permintaan pelanggan, serta spesifikasi material. Kombinasi kedua jenis data digunakan untuk memastikan bahwa rancangan memenuhi kebutuhan aktual lini produksi.

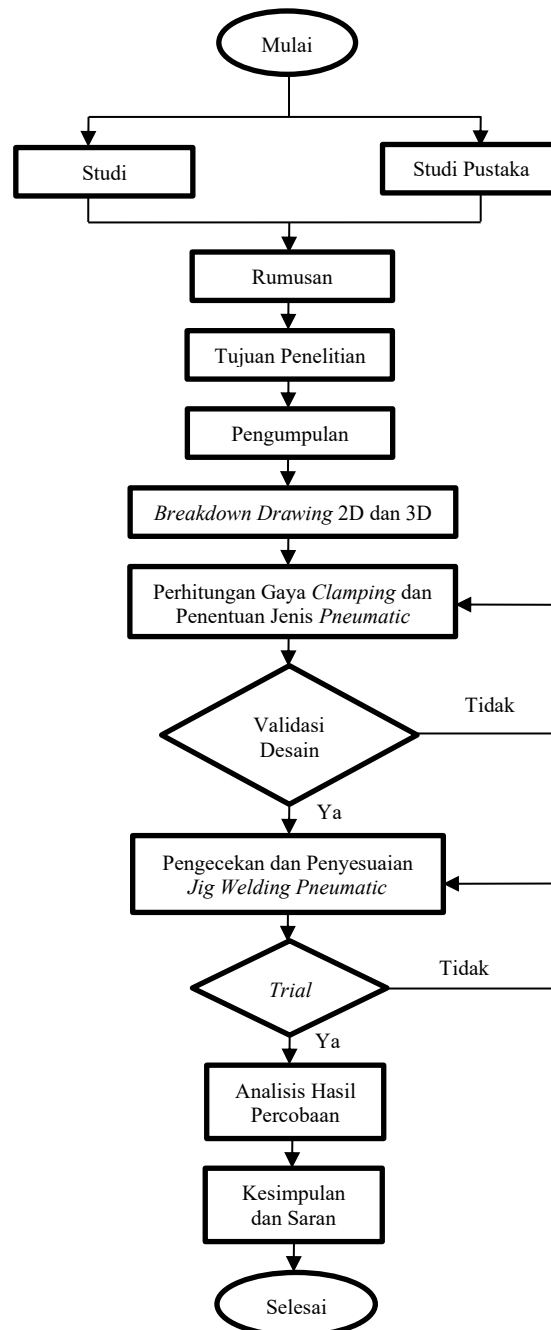
2.2 Sumber data

Data primer diperoleh dari unit Engineering Improvement, Dieshop, Quality Control, dan Automation yang terlibat langsung dalam perancangan, pembuatan, serta pengujian jig. Data sekunder bersumber dari dokumen engineering untuk proyek baru dan reguler, termasuk Process Quality Control Sheet (PQCS), Inspection Result Data (IRD), gambar kerja, dan catatan produksi. Data tersebut digunakan sebagai dasar penentuan kebutuhan desain, verifikasi dimensi, dan evaluasi kinerja jig setelah implementasi.

2.3 Tahapan penelitian

Tahapan penelitian diawali dengan studi pustaka dan studi lapangan untuk mengidentifikasi permasalahan pada jig *toggle* eksisting. Selanjutnya dikumpulkan data teknis komponen *Gusset FR*, kapasitas produksi, waktu siklus, target pelanggan, posisi titik pengelasan, serta kondisi ruang kerja pada jig. Berdasarkan data tersebut, dibuat *breakdown drawing* 2D dan model 3D dengan mempertimbangkan geometri part, datum dan *locator*, arah *clamping*, ruang gerak silinder, akses pengelasan, serta kemudahan loading dan unloading.

Desain awal kemudian dianalisis melalui perhitungan gaya clamping, gaya maju dan balik silinder, waktu gerak aktuator, serta tegangan pada komponen penahan. Spesifikasi silinder ditentukan berdasarkan kebutuhan gaya, arah gerak, panjang stroke, dan ruang pemasangan. Setelah validasi desain, komponen dibuat dan dirakit, kemudian dilakukan pengecekan keselarasan *locator*, *stopper*, *pin*, serta gerakan sistem pneumatik. Tahap akhir berupa trial di lini produksi untuk mengukur waktu siklus, output per 8 jam kerja, dan kestabilan posisi benda kerja. Alur lengkap penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1: Diagram Alir Penelitian

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, keputusan desain ditetapkan berdasarkan perhitungan kuantitatif, bukan hanya berdasarkan perkiraan. Gaya berat benda kerja dan gaya clamping dengan faktor keamanan dihitung terlebih dahulu, kemudian dibandingkan dengan gaya yang dihasilkan silinder pneumatik. Waktu gerak silinder juga dihitung berdasarkan panjang stroke dan kecepatan piston. Hasil perhitungan pada Persamaan (1)–(5) digunakan sebagai dasar untuk menentukan dimensi, spesifikasi aktuatur, dan kelayakan fungsional jig sebelum pembuatan fisik.

2.4 Perhitungan gaya clamping pada jig welding pneumatik

Perhitungan gaya clamping dilakukan untuk memastikan bahwa benda kerja tetap berada pada datum dan tidak bergeser selama pengelasan. Analisis mengacu pada prinsip mekanika teknik dan sistem fluida, dengan mempertimbangkan massa benda kerja, percepatan gravitasi, faktor keamanan, tekanan udara, serta luas penampang piston (Bolton, 2015; Hibbeler, 2016). Spesifikasi silinder selanjutnya dipilih berdasarkan kebutuhan gaya, arah gerak, panjang stroke, dan efisiensi sistem (Sofnivagi dkk., 2020). Gaya berat benda kerja dihitung menggunakan Persamaan (1):

$$F = m \times g \quad (1)$$

Gaya berat yang diperoleh dari Persamaan (1) dikalikan dengan faktor keamanan untuk menentukan kebutuhan minimum gaya clamping, sebagaimana dirumuskan pada Persamaan (2) (Shigley dkk., 2015).

$$F_{\text{total}} = F_{\text{berat}} \times SF \quad (2)$$

Keterangan:

F = gaya (N)

m = massa benda kerja (kg)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

F_{total} = gaya total setelah faktor keamanan (N)

SF = *safety factor*

2.5 Perhitungan gaya dan waktu gerak silinder pneumatik

Gaya silinder pneumatik dihitung untuk memastikan bahwa aktuator mampu menghasilkan gaya penjepitan yang lebih besar daripada kebutuhan minimum. Pada gerak maju (forward stroke), gaya diperoleh dari hasil perkalian tekanan udara dengan luas penampang piston, sebagaimana dinyatakan pada Persamaan (3):

$$F = \frac{D^2 \times \pi \times P}{4} \quad (3)$$

Persamaan (3) digunakan untuk menghitung gaya pada forward stroke (Bolton, 2015). Pada return stroke, luas efektif piston berkurang akibat adanya batang piston, sehingga gaya balik dihitung menggunakan Persamaan (4).

$$F = \frac{\pi(D^2 - d^2) \times P}{4} \quad (4)$$

Setelah gaya maju dan gaya balik diperoleh, waktu gerak silinder dihitung berdasarkan panjang stroke dan kecepatan rata-rata piston menggunakan Persamaan (5).

$$t = \frac{L}{v} \quad (5)$$

Persamaan (5) digunakan untuk memperkirakan waktu gerak maju maupun balik silinder pneumatik (Hibbeler, 2016).

Keterangan:

F = gaya (N)

D = diameter *bore* piston (m)

d = diameter batang piston (m)

P = tekanan udara (Pa)

t = waktu gerak (s)

L = panjang *stroke* (m)

v = kecepatan piston (m/s)

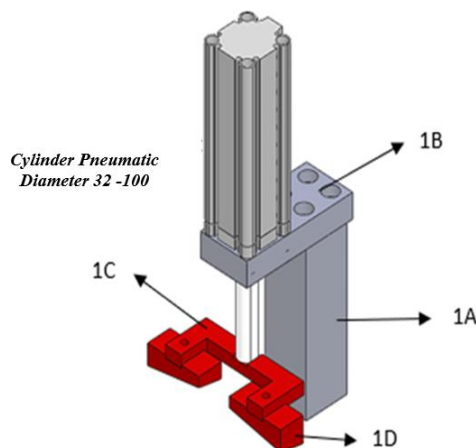
π = konstanta (3,14)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan mencakup perancangan empat assembly utama, perhitungan gaya dan waktu gerak silinder, pemilihan spesifikasi aktuator, validasi desain, analisis kekuatan struktur, pengecekan komponen, serta trial produksi. Setiap tahap dievaluasi untuk memastikan bahwa jig memenuhi kebutuhan geometri komponen Gusset FR, aman secara struktural, dan mampu mencapai target produksi.

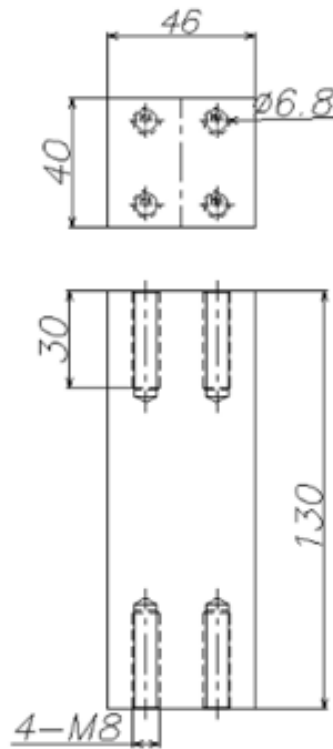
3.1 Assy 1

Assembly 1 berfungsi menjepit plate B secara vertikal menggunakan silinder pneumatik berdiameter bore 32 mm dan stroke 100 mm. Assembly ini terdiri atas empat komponen hasil fabrikasi dan satu komponen standar. Susunan komponen dirancang untuk meneruskan gaya silinder secara stabil ke permukaan benda kerja serta mempertahankan posisi plate B selama pengelasan. Model 3D Assembly 1 ditunjukkan pada Gambar 2.

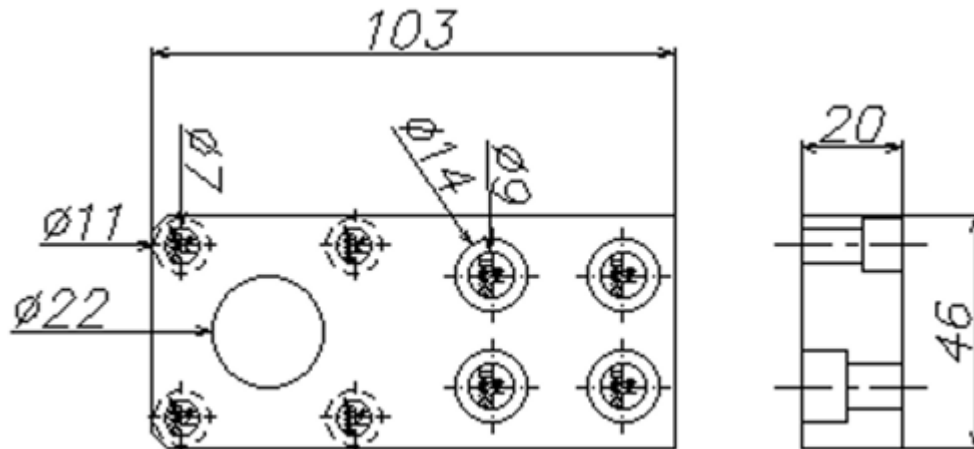


Gambar 2: Desain 3D assy 1

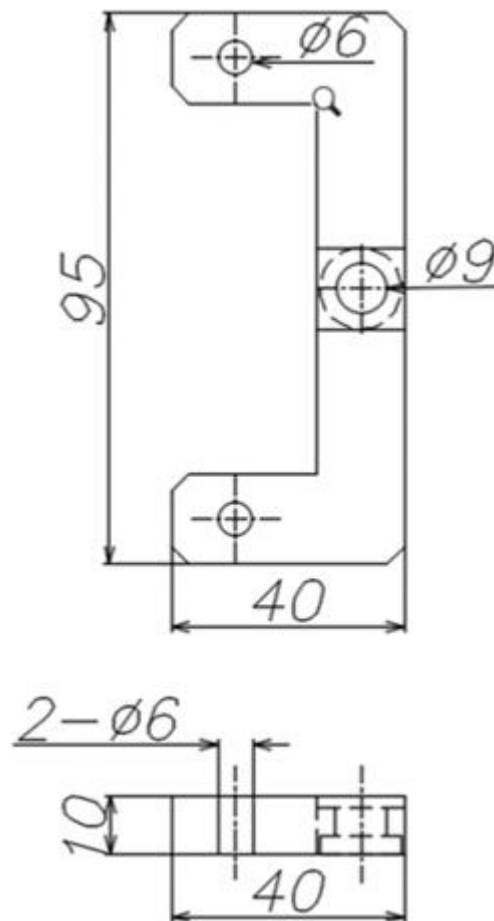
Komponen 1A berupa block pneumatic 1 dipasang pada base jig dan berfungsi sebagai penopang utama silinder serta komponen penjepit. Geometri komponen disesuaikan dengan posisi aktuator dan kebutuhan kekakuan sambungan. Detail desain 2D block pneumatic 1 ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 3: Desain 2D *block pneumatic*

Block pneumatic 1 berukuran 130 mm × 46 mm × 40 mm dan dibuat dari baja SS400 karena mudah dilas, mudah dimesin, dan memiliki kekuatan yang memadai untuk struktur jig. Proses pembuatannya meliputi CNC milling untuk membentuk profil, surface grinding untuk memperoleh kerataan permukaan, serta drilling empat lubang baut M8 dengan diameter awal 6,8 mm. Komponen 1B berupa flange pneumatic 1 dipasang di atas block pneumatic 1 sebagaiudukan silinder dan penghubung gaya ke mekanisme penjepit. Bentuk dan dimensi flange dirancang agar sumbu silinder tetap sejajar dengan arah clamping. Detail desain komponen ditunjukkan pada Gambar 4.

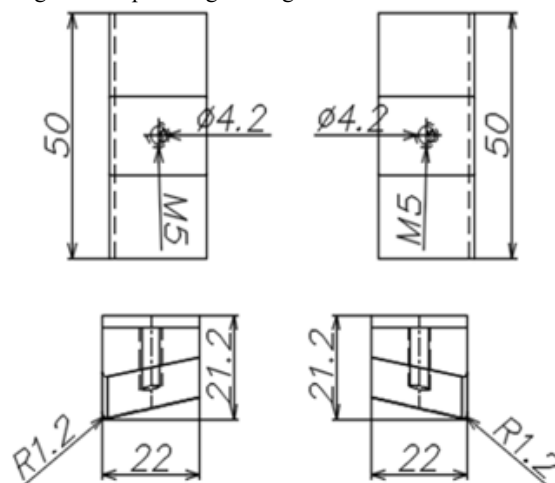
Gambar 4: Desain 2D *flange pneumatic*

Flange pneumatic 1 memiliki dimensi 103 mm × 46 mm × 20 mm dan menggunakan baja SS400. Proses manufakturnya meliputi CNC milling, surface grinding, dan drilling. Lubang berdiameter 14 mm dan 11 mm digunakan untuk pemasangan baut, sedangkan lubang tengah berdiameter 22 mm menyediakan ruang bagi batang piston selama bergerak. Komponen 1C berupa holder stopper dipasang pada ujung batang piston sebagai pengarah gerak sekaligus penerus gaya tekan ke plate B. Komponen ini menjaga arah clamping tetap konsisten dan mencegah pergeseran benda kerja selama pengelasan. Desain 2D holder stopper ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5: Desain 2D holder stopper

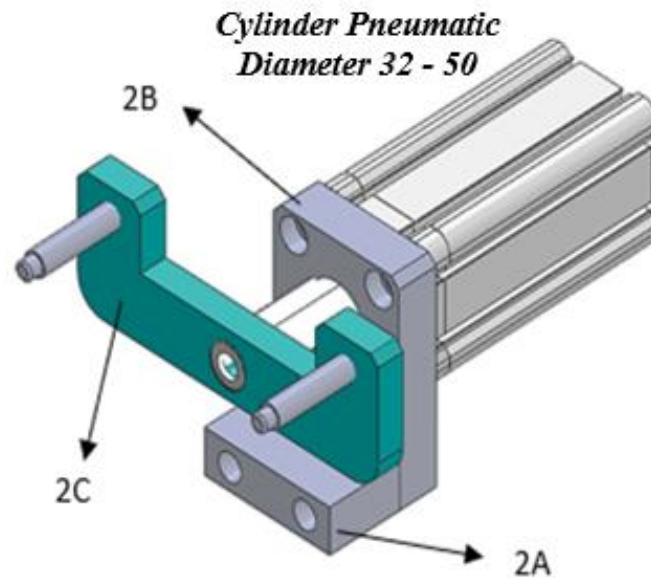
Holder stopper berukuran 95 mm × 40 mm × 10 mm dan dibuat dari baja SS400. Komponen diproses melalui CNC milling, surface grinding, dan drilling. Dua lubang berdiameter 6 mm digunakan sebagai titik pemasangan, sedangkan lubang tengah memiliki diameter luar 14 mm dan diameter dalam 9 mm untuk sambungan dengan batang piston. Komponen 1D berupa stopper 2 dipasang pada holder stopper dan bersentuhan langsung dengan plate B. Stopper ini membatasi posisi vertikal benda kerja serta mendistribusikan gaya tekan pada area yang ditentukan. Detail desainnya ditunjukkan pada Gambar 6. Stopper 2 memiliki dimensi 50 mm × 22 mm × 21,2 mm dan menggunakan baja S50C karena dapat diberi perlakuan panas untuk meningkatkan kekuatan serta ketahanan permukaan. Proses pembuatan meliputi CNC milling, pembentukan radius R1,2, dan drilling lubang ulir M5 pada bagian tengah.



Gambar 6: Desain 2D stopper 2

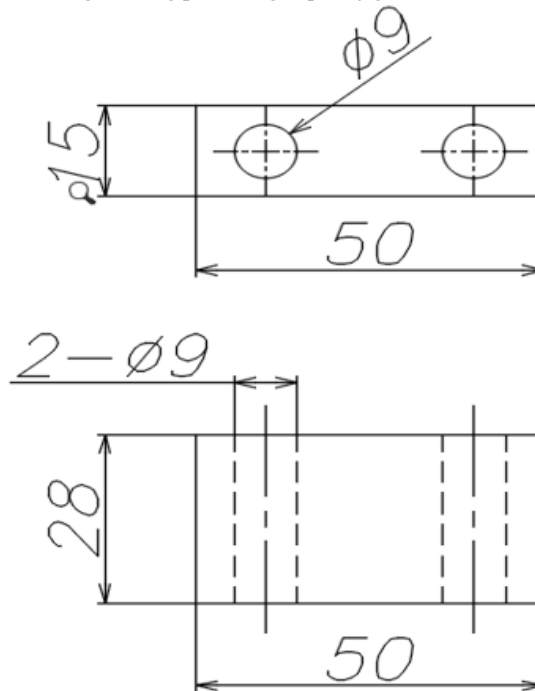
3.2 Assy 2

Assembly 2 berfungsi mendorong dan mengunci dowel pin secara horizontal menggunakan silinder pneumatik berdiameter bore 32 mm dan stroke 50 mm. Mekanisme ini menempatkan plate A pada datum secara berulang dan mencegah pergeseran selama pengelasan. Assembly 2 terdiri atas tiga komponen hasil fabrikasi dan satu komponen standar. Model 3D-nya ditunjukkan pada Gambar 7.



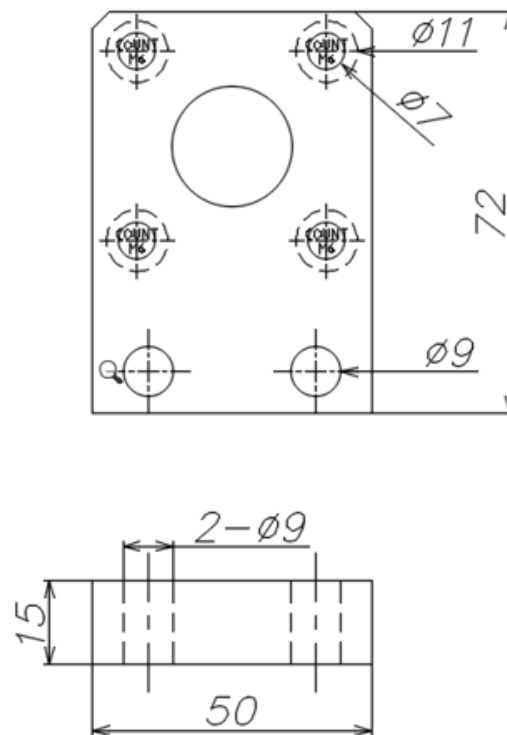
Gambar 7: Desain 3D assy 2

Komponen 2A berupa block pneumatic 2 menghubungkan base dengan flange silinder dan menahan beban reaksi selama aktuator bekerja. Dimensi serta posisi lubang disesuaikan dengan ruang pemasangan pada jig. Desain 2D block pneumatic 2 disajikan pada Gambar 8.



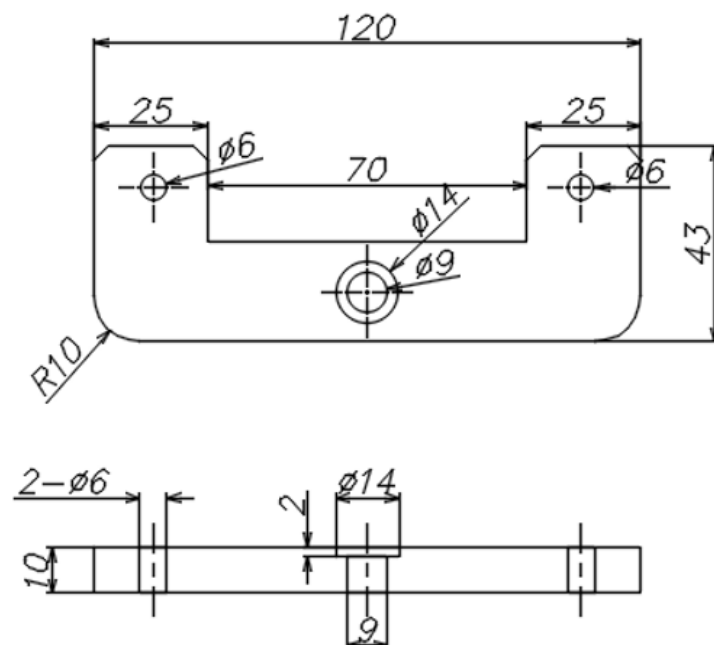
Gambar 8: Desain 2D block pneumatic 2

Block pneumatic 2 berukuran 50 mm × 28 mm × 15 mm dan dibuat dari baja SS400. Proses manufaktur meliputi CNC milling untuk membentuk profil, surface grinding untuk memperoleh permukaan rata, serta drilling dua lubang berdiameter 9 mm sebagai jalur baut pemasangan. Komponen 2B berupa flange pneumatic 2 dipasang pada block pneumatic 2 sebagai dudukan silinder dan penjaga keselarasan arah gerak piston. Detail geometri dan lubang pemasangan flange ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9: Desain 2D *flange pneumatic 2*

Flange pneumatic 2 memiliki dimensi 72 mm × 50 mm × 15 mm dan menggunakan baja SS400. Komponen dibuat melalui CNC milling, surface grinding, dan drilling. Lubang berdiameter 9 mm digunakan untuk baut pengikat, sedangkan lubang tengah berdiameter 22 mm menyediakan ruang bagi batang piston. Komponen 2C berupa holder pin dipasang pada batang silinder untuk meneruskan gerak horizontal ke dowel pin. Holder ini menjaga pin tetap sejajar dengan lubang datum sehingga plate A dapat diposisikan secara konsisten. Desain 2D holder pin ditampilkan pada Gambar 10. Holder pin berukuran 120 mm × 43 mm × 10 mm dan dibuat dari baja SS400. Proses pembuatannya meliputi CNC milling, pembentukan radius R10, surface grinding, serta drilling dua lubang berdiameter 6 mm dan satu lubang tengah berdiameter 14 mm sebagai dudukan pin.

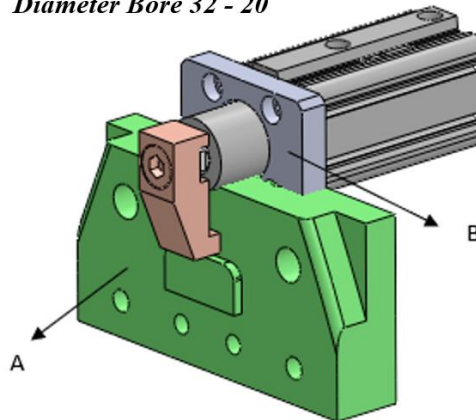


Gambar 10: Desain 2D *holder pin*

3.3 Assy 3

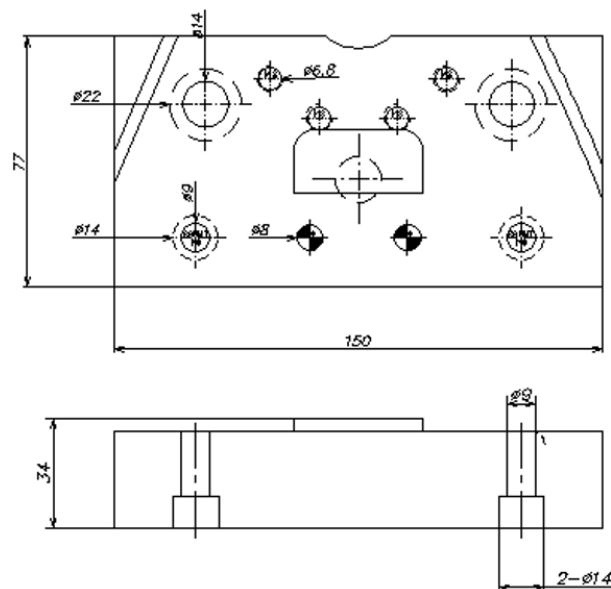
Assembly 3 berfungsi menjepit plate A secara horizontal setelah dowel pin masuk ke datum. Aktuator yang digunakan memiliki bore 32 mm dan stroke 20 mm. Stroke yang lebih pendek dipilih karena gerak yang dibutuhkan hanya untuk mengunci posisi part dalam ruang pemasangan yang terbatas. Assembly ini terdiri atas dua komponen hasil fabrikasi dan satu komponen standar. Model 3D Assembly 3 ditunjukkan pada Gambar 11.

Cylinder Pneumatic
Diameter Bore 32 - 20



Gambar 11: Desain 3D *assy 3*

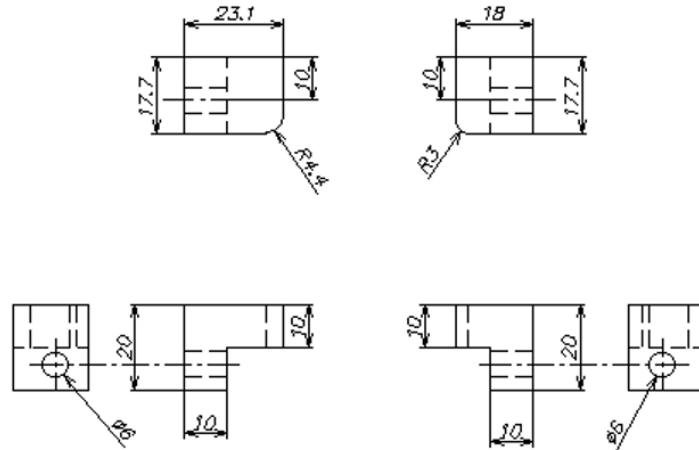
Komponen 3A berupa *locator plate A* dipasang pada *base* sebagai elemen penentu posisi utama *plate A*. Permukaan dan lubang *locator* dirancang untuk menempatkan part pada datum yang sama pada setiap siklus, sehingga variasi posisi selama pengelasan dapat diminimalkan. Detail desain 2D ditampilkan pada Gambar 12.



Gambar 12: Desain 2D *locator plate A*

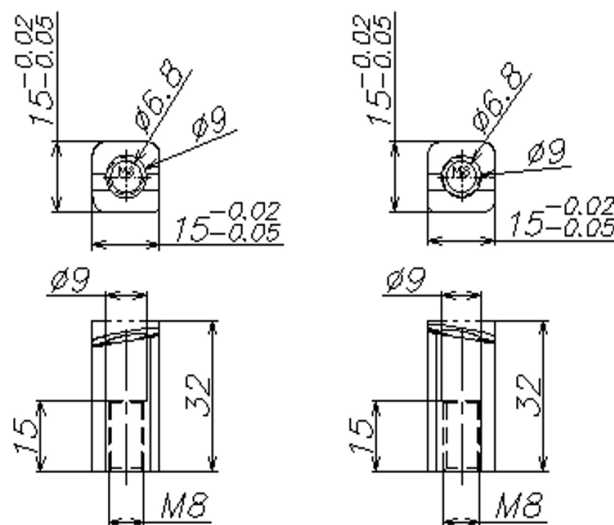
Locator plate A memiliki dimensi 150 mm × 77 mm × 34 mm dan dibuat dari baja S50C agar dapat diberi perlakuan panas untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan aus. Proses manufaktur meliputi CNC *milling*, *surface grinding*, *drilling*, dan *tapping*. Lubang yang dibuat mencakup empat lubang awal baut M8 berdiameter 6,8 mm, lubang ulir M8, serta lubang *clearance* berdiameter 14 mm. Komponen 3B berupa *flange pneumatic 3* dipasang pada *locator plate A* sebagaiudukan silinder. Flange menjaga posisi aktuator tetap kaku dan sumbu geraknya sejajar dengan arah clamping. Detail desain 2D flange pneumatic 3 ditunjukkan pada Gambar 13. Flange pneumatic 3 berukuran 70 mm × 70 mm × 12 mm dan menggunakan baja SS400. Komponen dibuat melalui CNC *milling*, *surface grinding*, dan *drilling* sesuai dengan pola pemasangan silinder dan *locator plate*

Locator plate B memiliki dimensi 205 mm × 55,5 mm × 46 mm dan dibuat dari baja SS400. Komponen diproses menggunakan CNC milling dan drilling, termasuk pembuatan lubang ulir M6 dan M8 sebagai titik pemasangan stopper serta komponen pendukung. Komponen 4B berupa stopper body B dipasang pada sisi kanan dan kiri *locator plate B*. Stopper ini membatasi gerakan *lateral* benda kerja dan memastikan *plate B* ditempatkan pada posisi yang sama pada setiap siklus. Desain 2D *stopper body B* disajikan pada Gambar 16.



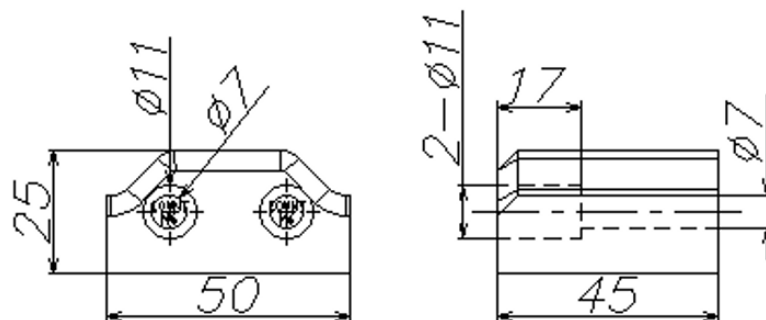
Gambar 16: Desain 2D *stopper body B*

Stopper body B berukuran 23,1 mm × 17,7 mm × 20 mm dan menggunakan baja SKD11 karena memiliki kekerasan serta ketahanan aus yang tinggi. Sifat tersebut diperlukan karena komponen menerima kontak dan gesekan berulang. Proses manufaktur meliputi CNC milling dan drilling lubang berdiameter 6 mm untuk pemasangan. Komponen 4C berupa *insert body B* dipasang pada bagian bawah kanan dan kiri *locator plate B*. Insert berfungsi sebagai penyangga, perantara pemasangan, dan penguat lokal pada area kontak. Detail desain 2D ditampilkan pada Gambar 17.



Gambar 17: Desain 2D *insert body B*

Insert body B memiliki dimensi 32 mm × 15 mm × 15 mm dan dibuat dari baja SKD11 untuk memperoleh ketahanan aus yang tinggi. Proses manufakturnya meliputi CNC milling, drilling lubang berdiameter 9 mm, dan tapping ulir M8 pada bagian bawah. Komponen 4D berupa stopper 1 dipasang pada *locator base* sebagai pembatas akhir posisi benda kerja. Komponen ini memastikan orientasi *plate* tetap konsisten sebelum proses clamping dan pengelasan. Desain 2D stopper 1 ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18: Desain 2D stopper 1

Stopper 1 berukuran 45 mm × 50 mm × 25 mm dan dibuat dari baja S50C agar dapat diberi perlakuan panas. Proses manufaktur meliputi CNC milling dan drilling dua lubang baut sejajar, yaitu lubang berdiameter 7 mm untuk batang baut dan counterbore berdiameter 11 mm untuk kepala baut.

3.5 Perhitungan gaya clamping jig welding pneumatik

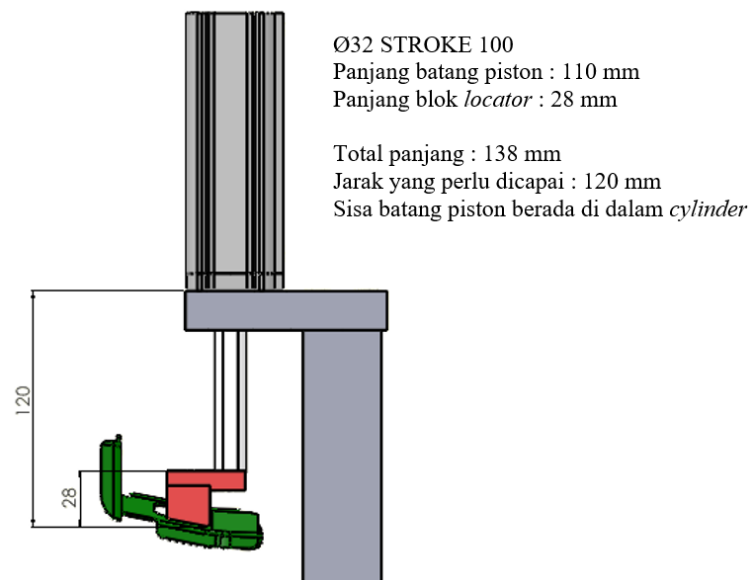
Berdasarkan Persamaan (1), benda kerja bermassa 0,17 kg menghasilkan gaya berat sebesar 1,667 N. Setelah dikalikan faktor keamanan 1,3 menggunakan Persamaan (2), kebutuhan minimum gaya clamping menjadi 2,167 N. Faktor keamanan digunakan untuk mengakomodasi getaran, variasi kontak, dan gangguan kecil selama pengelasan. Nilai tersebut menjadi batas minimum yang harus dilampaui oleh gaya aktuator agar benda kerja tetap stabil.

3.6 Perhitungan gaya dan waktu gerak silinder pneumatik

Pada Assembly 1, silinder dengan bore 32 mm dan tekanan kerja 5 bar menghasilkan gaya forward stroke sebesar 401,92 N berdasarkan Persamaan (3). Nilai ini sekitar 185 kali lebih besar daripada kebutuhan minimum gaya clamping 2,167 N, sehingga tersedia margin gaya yang memadai. Dengan stroke 100 mm dan kecepatan piston 200 mm/s, waktu gerak teoritis silinder adalah 0,50 detik. Assembly 2 menggunakan bore dan tekanan yang sama sehingga menghasilkan gaya forward stroke sebesar 401,92 N. Stroke 50 mm pada kecepatan 200 mm/s memberikan waktu gerak teoritis 0,25 detik. Gaya tersebut memadai untuk mendorong dowel pin dan mempertahankan posisi plate A pada datum. Pada Assembly 3, gaya return stroke dihitung sebesar 301,44 N karena luas efektif piston berkurang oleh luas batang piston. Dengan stroke 20 mm dan kecepatan 200 mm/s, waktu gerak teoritisnya adalah 0,10 detik. Meskipun lebih kecil daripada gaya maju, gaya balik tersebut tetap jauh melebihi kebutuhan minimum penjepitan.

3.7 Pemilihan silinder pneumatik

Silinder pneumatik dipilih sebagai aktuator utama karena mampu menghasilkan gerakan clamping dan unclamping yang cepat serta berulang. Penentuan spesifikasi mempertimbangkan kebutuhan gaya, panjang stroke, arah gerak, ruang pemasangan, dan jarak aman untuk loading serta unloading. Tiga silinder yang dipilih menggunakan bore 32 mm, sedangkan panjang stroke disesuaikan dengan fungsi masing-masing *assembly*.



Gambar 19: *Pneumatic cylinder assy 1*

Pada *Assembly 1*, batang piston sepanjang 110 mm dihubungkan dengan blok *locator* sepanjang 28 mm, sehingga panjang efektif mekanisme mencapai 138 mm. Jarak clamping yang dibutuhkan sebesar 120 mm masih menyisakan bagian batang di dalam silinder untuk menjaga kestabilan gerak. Oleh karena itu, dipilih silinder bore 32 mm dengan *stroke* 100 mm untuk gerakan vertikal. Silinder pada *Assembly 2* menggerakkan *holder pin* secara horizontal untuk memasukkan *dowel pin* ke lubang datum plate A, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 20. Gerak lurus tersebut memastikan *pin* masuk secara konsisten dan mengunci posisi benda kerja sebelum pengelasan.

Ø32 STROKE 50

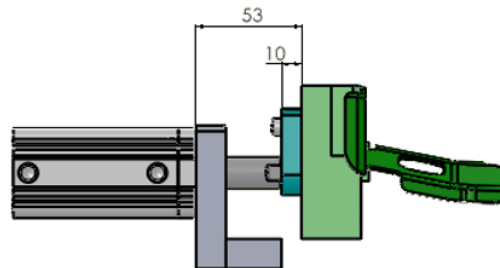
Panjang batang piston : 64 mm

Panjang blok *locator* : 10 mm

Total panjang : 74 mm

Jarak yang perlu dicapai : 53 mm

Sisa batang piston berada di dalam *cylinder*



Gambar 20: *Pneumatic cylinder assy 2*

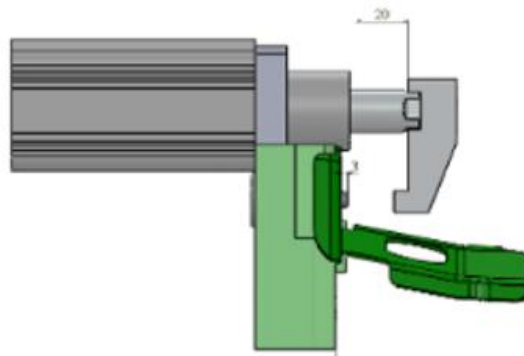
Assembly 2 menggunakan silinder bore 32 mm dengan stroke 50 mm. Spesifikasi ini dipilih berdasarkan jarak gerak holder pin, panjang batang piston, panjang komponen kontak, dan keterbatasan ruang pada jig. Kombinasi tersebut menyediakan jarak penjepitan yang cukup tanpa menimbulkan interferensi dengan komponen lain. Silinder pada Assembly 3 bekerja secara horizontal untuk menjepit plate A setelah dowel pin diposisikan. Mekanisme ini mencegah pergeseran part selama proses pengelasan dan melengkapi fungsi locating pada Assembly 2. Susunan silinder ditunjukkan pada Gambar 21. Assembly 3 menggunakan silinder bore 32 mm dengan stroke 20 mm. Stroke tersebut lebih besar daripada kebutuhan jarak aman unloading sebesar 11 mm, sehingga menyediakan ruang gerak yang cukup untuk melepas part sekaligus tetap sesuai dengan keterbatasan area pemasangan

Ø32 STROKE 20

Part dikeluarkan melewati *dowel pin* yang muncul sepanjang 3 mm

Jarak aman untuk proses *unloading part* : 11 mm

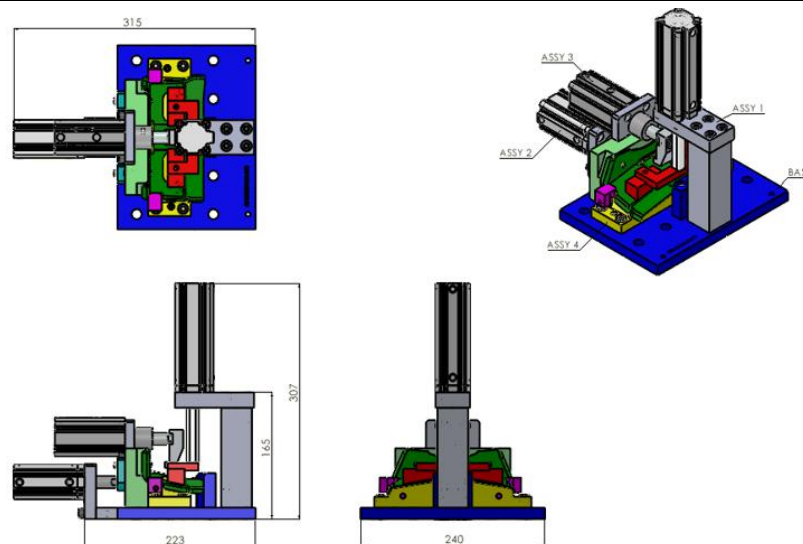
Panjang *stroke* bergerak : 20 mm



Gambar 21: *Pneumatic cylinder assy 3*

3.8 Perakitan *jig welding pneumatik*

Perakitan dilakukan dengan mengintegrasikan *lower plate*, *locator plate A* dan *B*, *block* dan *flange pneumatic*, *holder pin*, *stopper*, *bushing*, *pin datum*, *insert body*, *stopper body*, serta tiga silinder pneumatik menjadi satu sistem. Susunan akhir dirancang agar mekanisme locating, clamping, pengelasan, dan pelepasan benda kerja dapat berlangsung secara berurutan dan stabil. Model 3D hasil perakitan ditunjukkan pada Gambar 22.



Gambar 22: Desain 3D assembly jig welding pneumatic

3.9 Tinjauan desain jig welding pneumatik

Checksheets pada Tabel 1 digunakan untuk memverifikasi hubungan antara fungsi komponen, desain 3D, nomor *assembly*, dan kebutuhan proses. Pemeriksaan mencakup mekanisme penentuan posisi *plate A* dan *plate B*, penguncian *dowel pin*, arah *clamping*, serta toleransi *locator*.

Tabel 1: *Checksheets review desain jig welding pneumatic*

Perintah Kerja	Desain 3D	Assy	Keterangan
Pin digunakan untuk menjaga lubang pada <i>part plate A</i>	Pin dijaga menggunakan <i>dowel pin</i> $\varnothing 6$ mm dan dibuat padat (<i>fit</i>). <i>Dowel pin</i> diikat dengan <i>pneumatic linear</i> $\varnothing 32$ stroke 50	2 2	✓ ✓
Proses <i>clamping</i> untuk <i>plate A</i> menggunakan <i>pneumatic</i>	Menggunakan <i>pneumatic linear</i> yang meng <i>clamping</i> dari sisi depan.	3	✓
<i>Locator blok profile</i> untuk memposisikan <i>part plate B</i>	<i>Locator blok profil</i> untuk <i>plate B</i> menggunakan toleransi -0,1 mm presisi	1	✓

Sumber: Hasil olah data

3.10 Validasi desain jig welding pneumatic

Validasi desain pada Tabel 2 dilakukan untuk memastikan bahwa fungsi, dimensi, dan material setiap komponen sesuai dengan kebutuhan mekanis serta geometris jig. Pemeriksaan tersebut juga memastikan bahwa *locator*, *stopper*, *flange*, *block*, dan *holder* dapat dirakit tanpa interferensi serta mampu mempertahankan posisi komponen *Gusset FR*.

Tabel 2: Validasi desain jig pneumatic

No	Komponen	Bagian yang Dicek	Ya/Tidak	Keterangan
1.	<i>Base plate</i>	Fungsi	Ya	Sebagai dasar utama untuk meletakkan dan menopang semua komponen <i>jig</i> .
		Dimensi	Ya	15 mm × 180 mm × 240 mm
		Material	Ya	Menggunakan SS400, kuat dan ekonomis.
2.	<i>Locator plate B</i>	Fungsi	Ya	Menentukan dan menjaga posisi <i>part plate B</i> secara tepat saat pengelasan.
		Dimensi	Ya	46 mm × 55,5 mm × 205 mm
		Material	Ya	S50C, kuat dan mudah dibuat.
3.	<i>Locator plate A</i>	Fungsi	Ya	Menentukan dan menjaga posisi <i>part plate A</i> secara tepat saat pengelasan.
		Dimensi	Ya	34 mm × 77 mm × 150 mm
		Material	Ya	S50C, cukup kuat dan mudah diproses.
4.	<i>Block pneumatic 1</i>	Fungsi	Ya	Penopang silinder <i>pneumatic</i> 1 untuk gerakan penjepitan.
		Dimensi	Ya	40 mm × 46 mm × 130 mm
		Material	Ya	Menggunakan SS400, kuat dan ekonomis.
5.	<i>Flange pneumatic 1</i>	Fungsi	Ya	Penghubung antara silinder <i>pneumatic</i> dan blok penyangga.

No	Komponen	Bagian yang Dicek	Ya/Tidak	Keterangan
6.	<i>Block pneumatic 2</i>	Dimensi	Ya	20 mm × 46 mm × 103 mm
		Material	Ya	Menggunakan SS400, kuat dan ekonomis.
		Fungsi	Ya	Penopang silinder <i>pneumatic 2</i> untuk gerakan penjepitan.
		Dimensi	Ya	15 mm × 28 mm × 50 mm
7.	<i>Flange pneumatic 2</i>	Material	Ya	Menggunakan SS400, kuat dan ekonomis.
		Fungsi	Ya	Penghubung <i>pneumatic</i> ke 2 untuk menahan tekanan dari silinder.
		Dimensi	Ya	15 mm × 50 mm × 72 mm
		Material	Ya	Menggunakan SS400, kuat dan ekonomis.
8.	<i>Flange pneumatic 3</i>	Fungsi	Ya	Penghubung <i>pneumatic</i> ke 3 untuk menahan tekanan dari silinder.
		Dimensi	Ya	12 mm × 70 mm × 70 mm
		Material	Ya	SS400, cukup kuat dan tahan beban geser.
		Fungsi	Ya	Menahan pin pemosisi agar tetap stabil saat pengelasan.
9.	<i>Holder pin</i>	Dimensi	Ya	10 mm × 43 mm × 120 mm
		Material	Ya	SS400, cukup kuat dan tahan beban geser.
		Fungsi	Ya	Pembatas posisi <i>part</i> agar tidak bergeser saat proses.
		Dimensi	Ya	25 mm × 45 mm × 50 mm
10.	<i>Stopper 1</i>	Material	Ya	S50C, kuat dan mudah dibuat.
		Fungsi	Ya	Menahan posisi penjepit agar tidak bergerak bebas.
		Dimensi	Ya	20 mm × 23,5 mm × 50 mm
		Material	Ya	S50C, kuat dan mudah dibuat.
11.	<i>Clamp stopper</i>	Fungsi	Ya	Menahan posisi penjepit agar tidak bergerak bebas.
		Dimensi	Ya	20 mm × 23,5 mm × 50 mm
		Material	Ya	S50C, kuat dan mudah dibuat.
		Fungsi	Ya	Menjaga <i>stopper</i> tetap pada posisi fiks.
12.	<i>Holder stopper</i>	Dimensi	Ya	10 mm × 40 mm × 95 mm
		Material	Ya	SS400, cukup kuat dan tahan beban geser.
		Fungsi	Ya	Pembatas posisi <i>plate b</i> pada sisi atas agar tidak bergeser saat proses.
		Dimensi	Ya	22 mm × 22 mm × 50 mm
13.	<i>Stopper 2</i>	Material	Ya	S50C, kuat dan mudah dibuat.
		Fungsi	Ya	Sebagai pemosisi untuk <i>plate b</i>
		Dimensi	Ya	15 mm × 15 mm × 32 mm
		Material	Ya	SKD11, untuk hasil akurat dan tahan aus.
14.	<i>Insert body B</i>	Fungsi	Ya	Pembatas posisi <i>plate b</i> pada sisi samping
		Dimensi	Ya	20 mm × 23 mm × 18 mm
		Material	Ya	SKD11, untuk hasil akurat dan tahan aus.
		Fungsi	Ya	Pembatas posisi <i>plate b</i> pada sisi samping
15.	<i>Stopper body B</i>	Dimensi	Ya	20 mm × 23 mm × 18 mm
		Material	Ya	SKD11, untuk hasil akurat dan tahan aus.
		Fungsi	Ya	Pembatas posisi <i>plate b</i> pada sisi samping
		Dimensi	Ya	20 mm × 23 mm × 18 mm

3.11 Analisis kekuatan struktur komponen jig welding pneumatic

Keamanan struktur dianalisis dengan membandingkan tegangan kerja maksimum terhadap tegangan luluh material. Komponen penahan utama menggunakan baja SS400 sesuai JIS G3101, dengan tegangan luluh minimum 245 MPa untuk ketebalan pelat hingga 16 mm (Japanese Standards Association, 2020). Beban maksimum berasal dari gaya forward stroke Assembly 1 sebesar 401,92 N. Gaya tersebut diteruskan melalui holder stopper dengan luas penampang efektif 40 mm × 10 mm atau 400 mm². Tegangan kerja dihitung menggunakan Persamaan (6).

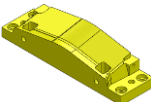
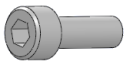
$$\sigma_{\text{kerja}} = F / A = 401,92 \text{ N} / 400 \text{ mm}^2 \approx 1,00 \text{ MPa} \quad (6)$$

Hasil perhitungan menunjukkan tegangan kerja sekitar 1,00 MPa, sedangkan tegangan luluh SS400 sebesar 245 MPa. Rasio tersebut menghasilkan faktor terhadap luluh sekitar 245, sehingga komponen bekerja jauh di bawah batas elastis material dan tidak diperkirakan mengalami deformasi permanen akibat gaya silinder. Margin yang besar juga menunjukkan bahwa dimensi komponen lebih ditentukan oleh kebutuhan kekakuan dan ketelitian posisi daripada oleh keterbatasan kekuatan material.

3.12 Pengecekan dan penyesuaian jig welding pneumatic

Sebelum trial produksi, seluruh komponen diperiksa untuk memastikan kesesuaian dimensi aktual, posisi pemasangan, kelancaran gerak, dan kecocokan dengan benda kerja. Hasil pengecekan *holder stopper*, *stopper 2*, *locator plate A* dan B, serta *pin* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3: Pengecekan dan penyesuaian Jig Welding Pneumatic

Gambar	Assy	Nama Komponen	Hasil Aktual Komponen Jig	Hasil Pemasangan Part dengan Komponen Jig
	1	Holder stopper	P: 95 mm L: 40 mm T: 10 mm	Dimensi <i>holder stopper</i> sesuai dengan permukaan atas <i>part</i>
	1	Stopper 2	P: 50 mm L: 22 mm T: 21,2 mm	Tinggi <i>stopper 2</i> sesuai dengan kebutuhan permukaan atas <i>part</i>
	4	Locator plate B	P: 205 mm L: 55,5 mm T: 46 mm	Dimensi <i>locator plate B</i> sesuai dengan kebutuhan <i>part</i>
	3	Locator plate A	P: 150 mm L: 77 mm T: 34 mm	Dimensi <i>locator plate A</i> sesuai dengan kebutuhan <i>part</i>
	2	Pin	P: 20 mm Ø6 mm	Pin terpasang pas atau <i>fit</i> sesuai dengan kebutuhan

Sumber: Hasil olah data

Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa dimensi komponen utama sesuai dengan gambar kerja dan dapat dipasang pada part tanpa interferensi. Sistem pneumatik juga diuji untuk memastikan bahwa arah gerak, urutan *clamping* dan *unclamping*, serta posisi akhir aktuatur sesuai dengan kebutuhan proses. Pemeriksaan ini menjadi dasar untuk melanjutkan *jig* ke tahap trial produksi.

3.13 Hasil trial jig welding pneumatic

Trial produksi dilakukan untuk mengevaluasi kinerja *jig* setelah implementasi sistem pneumatik. Parameter yang diamati meliputi waktu loading, waktu aktivasi silinder, waktu pengelasan, waktu *unclamping*, waktu unloading, total waktu siklus, dan output selama 8 jam kerja. Rincian urutan proses dan hasil pengukuran disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4: Hasil trial jig welding pneumatic

Langkah Proses	Deskripsi Singkat	Waktu (detik)	Output (Unit)
Nama Produk	Gusset FR	-	-
Jenis Jig	Jig Welding Pneumatic	-	-
Sistem Penguncian	3 Pneumatic cylinders	-	-
Loading Material	Memasukkan <i>part</i> ke <i>jig</i>	10	-
Push Button (one button)	Mengaktifkan otomatisasi <i>clamping</i> & pin datum secara bersamaan	2	-
Pneumatic 2	Mendorong dowel pin/pin datum ke <i>plate A</i>	0,25	-
Pneumatic 3	Menjepit <i>plate A</i> agar tidak bergeser pada saat dilakukan proses pengelasan	0,10	-
Pneumatic 1	Menahan <i>part plate B</i> agar tidak bergeser pada saat proses pengelasan	0,50	-
Proses Pengelasan	Proses pengelasan berlangsung	15	-
Unclamp Otomatis	Melepaskan clamp dan pin datum otomatis	0,85	-

Langkah Proses	Deskripsi Singkat	Waktu (detik)	Output (Unit)
Unloading Material	Mengeluarkan <i>part</i>	8	-
<i>Cycle Time</i>	<i>Cycle time / part</i>	36,7	-
Output / 8 jam kerja		-	784
Output produksi 22 hari kerja		-	17.248

Sumber: Hasil olah data

Tabel 5: Perbandingan Kinerja Sebelum dan Sesudah Implementasi *Jig Welding Pneumatic*

Parameter	Sebelum (<i>Jig Toggle Manual</i>)	Sesudah (<i>Jig Welding Pneumatic</i>)
<i>Cycle time / part</i>	72 detik	36,7 detik
Output produksi / 8 jam	400 unit	784 unit
Target permintaan <i>customer</i>	400 unit	750 unit
Selisih terhadap target	Kurang 350 unit (defisit)	Lebih 34 unit (surplus)
Peningkatan efisiensi <i>cycle time</i>	-	± 87 %

Sumber: Hasil olah data

Berdasarkan Tabel 5, penerapan *jig welding* pneumatik menurunkan waktu siklus dari 72 menjadi 36,7 detik per unit, atau berkurang sebesar 49,0 %. Penurunan tersebut meningkatkan output dari 400 menjadi 784 unit per 8 jam kerja, setara dengan peningkatan 96,0 %. Output hasil trial melampaui target pelanggan sebesar 750-unit sebanyak 34-unit atau 4,5 %. Peningkatan ini terutama berasal dari simultanisasi gerak *clamping* dan *pin datum* melalui satu tombol serta berkurangnya waktu manipulasi manual. Hasil tersebut menunjukkan bahwa otomasi mekanisme penjepitan memberikan pengaruh langsung terhadap kapasitas produksi. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa integrasi otomasi dan desain *jig* yang tepat dapat memperpendek waktu proses serta meningkatkan repeatability pada produksi manufaktur (Nguyen dkk., 2023; Nurhadi dkk., 2025). Namun, output 784-unit merupakan hasil trial pada kondisi pengujian yang digunakan, sehingga kestabilan kinerja pada operasi jangka panjang tetap perlu dipantau. Dari aspek proses, gerakan silinder yang terarah mempertahankan posisi *part* pada *locator* dan *stopper* selama pengelasan, sehingga variasi akibat gaya manual operator dapat dikurangi. Kondisi ini mendukung konsistensi penjepitan sebagaimana dilaporkan pada penelitian *jig* dan *fixture* sebelumnya (Ishac dkk., 2021; Sidi, 2020). Meskipun demikian, penelitian ini belum menyajikan analisis statistik terhadap dimensi hasil las atau tingkat cacat; oleh karena itu, klaim peningkatan kualitas dibatasi pada kestabilan posisi benda kerja selama trial. Secara keseluruhan, transformasi dari *toggle clamp manual* ke sistem pneumatik efektif meningkatkan produktivitas dan konsistensi operasi pengelasan komponen *Gusset FR*.

4. KESIMPULAN

Pengembangan *jig welding* pneumatik berbasis *Engineering Design Process* untuk komponen *Gusset FR* menghasilkan sistem penjepitan otomatis yang terdiri atas empat assembly. Tiga silinder pneumatik dengan diameter bore 32 mm dan stroke 100, 50, serta 20 mm digunakan untuk menggerakkan mekanisme *clamping* secara vertikal dan horizontal. Kebutuhan minimum gaya *clamping* sebesar 2,167 N dapat dipenuhi oleh gaya forward stroke sebesar 401,92 N pada tekanan 5 bar. Tegangan kerja struktur sebesar sekitar 1,00 MPa juga jauh lebih rendah daripada tegangan luluh material SS400 sebesar 245 MPa. Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa *jig* memiliki kapasitas penjepitan dan margin kekuatan yang memadai untuk menjaga kestabilan komponen selama proses pengelasan. Hasil trial produksi menunjukkan bahwa penerapan sistem pneumatik menurunkan waktu siklus dari 72 menjadi 36,7 detik per unit, atau sebesar 49,0 %, serta meningkatkan output dari 400 menjadi 784 unit per delapan jam kerja, atau sebesar 96,0 %. Capaian tersebut melampaui target produksi 750 unit sebanyak 34 unit. Peningkatan ini membuktikan bahwa penggantian *toggle clamp manual* dengan mekanisme pneumatik efektif meningkatkan kapasitas produksi, mempercepat proses *clamping* dan *unclamping*, serta mengurangi ketergantungan pada gerakan manual operator. Meskipun posisi benda kerja selama trial tetap stabil dan mendukung konsistensi pengelasan, penerapan skala penuh perlu disertai evaluasi lanjutan terhadap kapabilitas dimensi produk, tingkat cacat pengelasan, keandalan komponen pneumatik, dan kestabilan kinerja dalam pengoperasian jangka panjang..

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prodi Teknologi Rekayasa Otomotif Politeknik STMI Jakarta atas terselenggaranya penelitian ini, serta kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, baik dalam bentuk fasilitas. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada rekan-rekan peneliti dan teknisi/supervisor di PT Mada Wikri Tunggal Plant 1 yang turut membantu dalam proses pengumpulan data dan analisis hasil penelitian.

KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan finansial maupun hubungan pribadi yang dapat dianggap memengaruhi hasil atau pembahasan dalam artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anam, C., Muzaka, K., & Pamudi, R. (2020). Experimental study on the effect of cross feed of surface *grinding* on the vibration and the surface roughness of hardened tool steel OCR12VM. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 11(3), 313–322.
- Bolton, W. (2015). *Pneumatic and hydraulic systems*. Elsevier.
- Burli, Yudo, E., & Pranandita, N. (2024). J-Proteksion: Jurnal kajian ilmiah dan teknologi teknik mesin. *J-Proteksion*, 4(13), 1–6.

- Carli, C., Saputra, E., Daryadi, D., & Sunarto, S. (2022). Aplikasi jig pada proses pembuatan hook untuk meningkatkan efisiensi waktu pengelasan menggunakan rotary *welding*: Studi kasus di industri karoseri. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 17(2), 325.
- Hibbeler, R. C. (2016). *Engineering mechanics: Dynamics* (14th ed.). Pearson.
- Hidayatulloh, I., Pramono, G. E., Gaos, S., Teknik, F., Sains, D., Ibn, U., & Bogor, K. (2020). Optimasi proses machining mesin CNC *milling* untuk shell & tube pada alat surface condenser. *Jurnal ALMIKANIK*A, 2(4).
- Ishac, A., Simanjuntak, E., & Sinaga, N. (2021). Perancangan jig and fixture pengelasan untuk mencegah distorsi pada saat pengelasan rangka depan Maung 4x4. *Jurnal Teknik Mesin S-I*, 9(4).
- Japanese Standards Association. (2020). *JIS G3101: Rolled steels for general structure*. Japanese Standards Association.
- Julian, N., Budiarto, U., & Arswendo, B. (2019). Analisa perbandingan kekuatan tarik pada sambungan las baja SS400 pengelasan MAG dengan variasi arus pengelasan dan media pendingin sebagai material lambung kapal. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(4), 277–285.
- Junus, S. (2011). Pengaruh besar aliran gas terhadap cacat porositas dan struktur mikro hasil pengelasan MIG pada paduan aluminium 5083. *Jurnal ROTOR*, 4(1), 22–31.
- Meilasari, R. D. D., Sibutar-Butar, K., Nurlaila, Lubis, M. Y., & Maysaroh, S. (2022). Manajemen manufaktur LKP Rumah Jahit Ilham Kharisma di Kota Padangsidimpuan. Diakses Desember, 2025.
- Nguyen, T. C., Tien, D. H., Nguyen, B. N., & Hsu, Q. C. (2023). Multi-response optimization of *milling* process of hardened S50C steel using SVM-GA based method. *Metals*, 13(5).
- Nurhadi, F. F., Purbaningrum, S. P., & Solih, E. S. (2025). Rancang bangun dan analisis *jig welding* pengelasan siku sebagai alat bantu praktikum produksi jig & fixture di Politeknik STMI Jakarta. *X*, 2, 13091–13099.
- Purbaningrum, S. P., Johannes, J., Imansuri, F., Salati, D., & Solih, E. S. (2023). Implementasi *jig welding* untuk meningkatkan efisiensi pengelasan frame base. *Journal of Community Services in Sustainability*, 2(1), 55–64.
- Purbaningrum, S. P., Lianny, I. K. M., Solih, E. S., Arohman, A. W., & Satiman, B. (2024). *Clamping* dies design to minimize automotive component dies setup time at PT Ganding Toolsindo. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 25(2), 77–84.
- Setiawan, I., Setiawan, R., Zahabiyah, R., Lestari, T. D., Triantoro, V. W., Farrel, V., Andriko, Y., & Puspita, W. Y. (2023). Penerapan jig & fixture pada produksi massal di industri manufaktur. *Jurnal Media Teknik dan Sistem Industri*, 7(2), 104–111.
- Shigley, J. E., Mischke, C. R., & Budynas, R. G. (2015). *Mechanical engineering design* (10th ed.). McGraw-Hill Education.
- Sidi, P. (2020). Analisa pengaruh proses pengelasan MIG terhadap distorsi sudut dan kedalaman penetrasi pada sambungan butt-joint. *Metrik Polba*, 5(1), 10–17.
- Sofnivagi, M., Razi, M., & Hasrin, H. (2020). Rancang bangun sistem elektro pneumatik untuk mesin pencetak biobriket. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 4(1), 45.
- Sumiyanto, Hermanto, R., & Rizani, C. N. (2020). Analisa proses produksi jig untuk perakitan pintu depan mobil X. *Presisi*, 22(2), 39–48.