

PERANCANGAN PROGRESSIVE DIES UNTUK MENINGKATKAN DAYA SAING PRODUK KOMPONEN SEPEDA MOTOR (WASHER B LOCK – 9043-065-000)

Progressive Dies Design to Improve Product Competitiveness of Motorcycle Components (Washer B Lock – 9043-065-000)

Luky Krisnadi¹²

¹Program Studi Magister Teknik Industri, Universitas Pasundan, Bandung, Indonesia

²Balai Besar Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri Logam dan Mesin (BBSPJILM), Jl. Sangkuriang No. 12, Bandung 40135

Pembimbing: Dr. Ir. H. Chevy Herly S, MT | Dr. Ir. Yogi Yogaswara, MT
e-mail: lucky.hd12041975@gmail.com

ABSTRAK	ABSTRACT
Industri otomotif yang kompetitif menuntut peningkatan efisiensi produksi dan kualitas komponen secara berkelanjutan. Penelitian ini merancang, membuat, dan mengevaluasi Progressive Dies sebagai pengganti Transfer Dies untuk memproduksi komponen Washer B Lock (9043-065-000) pada sepeda motor. Perancangan mengacu pada metode VDI 2222 (Verein Deutscher Ingenieure) dan menghasilkan dies dengan 7 stasiun kerja terintegrasi. Uji coba terhadap 30 sampel produk menunjukkan kesesuaian dimensi 100% terhadap standar DIN 127B/ISO 7089. Progressive Dies menghasilkan output 4 pcs/menit (dua kali lipat Transfer Dies), menurunkan reject ratio 60% (dari 10% menjadi 4%), dan menekan Harga Pokok Produksi (HPP) dari Rp1.631,59 menjadi Rp812,58 per unit. Analisis kelayakan finansial ($r=10\%$, $n=5$ tahun) menunjukkan: NPV Rp8,28 miliar (vs. Rp6,33 miliar), IRR $\pm 9.329\%$ (vs. $\pm 3.629\%$), BCR 4,12 (vs. 2,62), Payback Period ≈ 4 hari kerja (vs. ≈ 9 hari kerja), dan BEP 3,64% kapasitas bulanan (vs. 7,73%). Replacement Analysis menegaskan Progressive Dies feasible menggantikan Transfer Dies untuk meningkatkan daya saing produk.	<i>The competitive automotive industry demands continuous improvements in production efficiency and component quality. This study designs, manufactures, and evaluates Progressive Dies as a replacement for Transfer Dies in producing the Washer B Lock component (9043-065-000) for motorcycles. The design follows the VDI 2222 (Verein Deutscher Ingenieure) methodology, resulting in a 7-station integrated die set. Trial production on 30 sample products demonstrates 100% dimensional conformity to DIN 127B/ISO 7089 standards. Progressive Dies achieves an output of 4 pcs/min (double that of Transfer Dies), reduces the reject ratio by 60% (from 10% to 4%), and lowers the unit production cost (HPP) from Rp1,631.59 to Rp812.58. Financial feasibility analysis ($r=10\%$, $n=5$ years) shows: NPV of Rp8.28 billion (vs. Rp6.33 billion), IRR $\approx 9,329\%$ (vs. $\approx 3,629\%$), BCR 4.12 (vs. 2.62), Payback Period ≈ 4 working days (vs. ≈ 9 working days), and BEP at 3.64% of monthly capacity (vs. 7.73%). Replacement Analysis confirms that Progressive Dies is feasible to replace Transfer Dies in improving product competitiveness.</i>
Kata Kunci : progressive dies, Washer Lock, presisi tinggi, proses operasi, produk massal.	Keywords: progressive dies, Washer Lock, high precision, operation process, mass products.

1. PENDAHULUAN

Industri sepeda motor Indonesia merupakan salah satu pasar terbesar di dunia, dengan volume produksi nasional yang terus tumbuh seiring meningkatnya kebutuhan mobilitas masyarakat. Di tengah kompetisi global, para produsen dan pemasok komponen dituntut untuk terus meningkatkan efisiensi proses, kualitas produk, dan penekanan biaya produksi secara bersamaan sebagai kunci daya saing (Groover, 2014).

Washer B Lock (nomor komponen 9043-065-000) adalah komponen kritis pada sepeda motor yang berfungsi sebagai pengunci antara baut dan mur, mencegah kelonggaran akibat getaran dan gaya eksternal. Komponen ini bersifat single-use sehingga selalu diganti setiap kali dilakukan

pembongkaran mesin, mengakibatkan permintaan yang besar dan berkelanjutan. Proses produksi yang saat ini digunakan di PT. Mada Wikri Plant 2 Bandung adalah metode *Transfer Dies*, yang terdiri dari dua tahapan operasi terpisah, melibatkan dua unit mesin press, dua set dies, dan dua operator. Kondisi ini menghasilkan waktu siklus 30 detik per unit, reject ratio rata-rata 10%, dan biaya operasional yang relatif tinggi.

Progressive Dies adalah perangkat stamping yang mengintegrasikan beberapa stasiun operasi *piercing, blanking, bending, dan forming* — dalam satu unit dies yang bekerja secara berurutan dalam satu stroke mesin press (Sharma, 2014; Suchy, 2016). Berbagai penelitian telah membuktikan keunggulannya: Bambang & Mrihrenaningtyas (2023) menunjukkan peningkatan laju produksi komponen pengunci sabuk; Anggraini et al. (2023) membuktikan efisiensi *dies* untuk terminal relay; dan Lam et al. (2024) menekankan pengendalian clearance untuk minimasi burr. Namun, studi komprehensif yang mengintegrasikan aspek teknis perancangan (VDI 2222), kualitas produk, dan analisis kelayakan finansial untuk komponen *Washer B Lock* pada sepeda motor masih sangat terbatas.

Penelitian ini bertujuan untuk: **(1)** merancang *Progressive Dies* yang optimal bagi produksi *Washer B Lock* menggunakan metode VDI 2222; **(2)** mengevaluasi kualitas produk melalui pengukuran empat dimensi kritis; dan **(3)** menganalisis kelayakan ekonomi implementasi *Progressive Dies* dibandingkan *Transfer Dies* melalui *Cost-Benefit Analysis*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Progressive Dies dalam Manufaktur Sheet Metal

Progressive Dies didefinisikan sebagai perangkat manufaktur yang membentuk komponen dari lembaran logam melalui serangkaian operasi pemotongan dan pembentukan yang dilakukan secara berurutan dalam satu langkah proses (Sharma, 2014). Prinsip kerjanya melibatkan pergerakan strip logam melalui beberapa stasiun, di mana setiap stasiun melakukan operasi spesifik, dan setiap stroke mesin menghasilkan satu komponen jadi (Suchy, 2016).

Komponen utama *Progressive Dies* mencakup *die block, punch, stripper plate, pilot, blanking die, dan piercing die* (Parmar et al., 2017). Keunggulan utamanya meliputi: peningkatan efisiensi produksi, konsistensi kualitas yang tinggi melalui sistem pilot holes dan locator pins, pengurangan biaya tenaga kerja, serta peningkatan produktivitas dengan berkurangnya Work In Process (WIP) dan lead time (Bhajantri, 2014; Groover, 2014).

2.2 Metode Perancangan VDI 2222

Metode VDI 2222 (Verein Deutscher Ingenieure) adalah pendekatan sistematis untuk pengembangan dan perancangan sistem teknis yang terdiri dari empat fase: (1) Perencanaan, identifikasi kebutuhan dan spesifikasi produk; (2) Pengonsepan, pengembangan dan seleksi konsep desain terbaik; (3) Perancangan, detail geometri, perhitungan teknis (gaya pembentukan, clearance), dan pemilihan material; serta (4) Penyelesaian, pembuatan prototipe dan pengujian (Pahl et al., 2016). Dibandingkan dengan TRIZ, Pahl-Beitz, Axiomatic Design, maupun QFD, metode VDI 2222 dinilai menawarkan keseimbangan terbaik antara sistematis, fleksibilitas, dan praktikalitas untuk perancangan *Progressive Dies* (Priyadarshi et al., 2021).

2.3 Analisis Kelayakan Ekonomi (Cost-Benefit Analysis)

Cost-Benefit Analysis adalah metode evaluasi ekonomi yang membandingkan seluruh biaya dan manfaat dari suatu investasi teknologi (Buttell et al., 2014). Parameter utama yang digunakan meliputi: Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Benefit-Cost Ratio (BCR), Payback Period (PP), dan Break Even Point (BEP). Dalam konteks pergantian teknologi, Replacement Analysis diterapkan: apabila seluruh indikator teknologi challenger (*progressive dies*) melebihi defender (*transfer dies*), maka teknologi baru dinyatakan feasible untuk diimplementasikan (Arum Sari, 2023).

2.4 Research Gap

Berdasarkan kajian terhadap 11 penelitian terdahulu (Tabel 1), terdapat tiga gap penelitian utama: (1) belum ada studi spesifik yang merancang *Progressive Dies* untuk produksi *Washer B Lock* pada industri sepeda motor; (2) terbatasnya penelitian yang mengintegrasikan metode VDI 2222 dengan analisis biaya-manfaat dalam perancangan *Progressive Dies*; dan (3) belum adanya model komprehensif yang menggabungkan aspek teknis, kualitas, dan ekonomi untuk komponen spesifik ini.

No.	Penulis (Tahun)	Topik Penelitian	Persamaan	Gap vs. Penelitian Ini
1	Bambang & Mrihrenaningtyas (2023)	Progressive Dies untuk pengunci sabuk	Perancangan & perhitungan Progressive Dies	Tidak ada analisis biaya-manfaat dan uji prototipe
2	Lam et al. (2024)	Kontrol clearance untuk minimasi burr	Perancangan Progressive Dies untuk kualitas produk	Tidak ada analisis finansial dan uji fisik
3	Anggraini et al. (2023)	Efisiensi desain dies terminal relay G2R-1A	Penyederhanaan proses dan penghematan biaya	Tidak ada uji prototipe dan pengukuran dimensi

4	Kong et al. (2023)	Sistem desain otomatis Progressive Dies (CAD)	Metodologi perancangan terintegrasi	Tidak ada implementasi fisik dan analisis ekonomi
5	Yang & Hinduja (2023)	Perencanaan urutan operasi Progressive Dies	Pengaruh urutan terhadap akurasi dan biaya	Tidak mencakup aspek ekonomi dan kualitas produk
6	Priyadarshi et al. (2021)	Aplikasi VDI 2222 pada perancangan teknis	Penggunaan metode VDI 2222	Tidak spesifik pada Progressive Dies komponen otomotif
7	Guo et al. (2024)	Micropunching progresif strip tembaga tipis	Konsep progresif multi-stasiun	Konteks berbeda: mikro-komponen, bukan stamping otomotif
8	Slapsevicius & Moksins (2022)	Akurasi pemodelan blank pada stamping progresif	Evaluasi kualitas proses stamping progresif	Hanya simulasi/numerik, tanpa implementasi fisik
9	Briesenick & Liewald (2022)	Pengurangan springback pada deep-drawing	Metode stamping progresif untuk AHSS	Konteks material berbeda, tidak ada analisis ekonomi
10	Ma & Meng (2023)	Deteksi anomali pada stamping progresif	Pengendalian kualitas proses stamping	Fokus pada monitoring, bukan perancangan dies
11	Hakim & Silaban (2021)	Project-based learning desain Progressive Dies	Pemahaman konsep perancangan dies	Konteks pendidikan, bukan implementasi industri

Tabel 1. Research Gap terhadap Penelitian Terdahulu

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan eksperimental. Lokasi penelitian dilaksanakan di dua tempat: PT. Mada Wikri Plant 2, Jl. Raya Nanjung Cisaat No. 25, Bandung (pengumpulan data proses *Transfer Dies* eksisting), dan Balai Besar Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri Logam dan Mesin (BBSPJILM), Jl. Sangkuriang No. 12, Bandung (perancangan, pembuatan, dan pengujian *Progressive Dies*).

3.1 Fase Perancangan (VDI 2222)

Perancangan *Progressive Dies* dilaksanakan melalui empat fase VDI 2222:

- Fase Perencanaan: Pengumpulan data spesifikasi produk *Washer B Lock* (dimensi, toleransi standar DIN 127B/ISO 7089, material SPCC 1mm), data proses *Transfer Dies* eksisting (waktu siklus, reject ratio, biaya operasional), dan penentuan target perancangan.
- Fase Pengonsepan: Penyusunan layout strip material, penentuan urutan dan jumlah stasiun operasi, serta evaluasi konsep desain melalui simulasi CAD/CAM.

- Fase Perancangan: Perhitungan gaya pembentukan per stasiun, pemilihan material dies (S45C untuk komponen struktural, SKD11 untuk *punch dan die plate* proses), perancangan detail 3D, pembuatan gambar kerja, dan bill of materials (BOM).
- Fase Penyelesaian: Pembuatan komponen, perakitan (setting & assembling), serta uji coba produksi (bench test) dengan sampling $n = 30$ buah (100% sampling dari populasi uji fungsional).

3.2 Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pengukuran dimensi sampel dilakukan menggunakan Profile Projector merk Deltronic (kapasitas $X=0-200\text{mm}$, $Y=0-100\text{mm}$, resolusi $0,002\text{mm}$) terhadap empat variabel kritis: X (lebar), Y (tinggi), $\varnothing d1$ (diameter dalam), dan $\varnothing d2$ (diameter luar). Setiap sampel diukur sebanyak 3 kali ulangan dan hasilnya dirata-ratakan. Sebelum uji coba produksi, material bahan baku SPCC diverifikasi melalui uji komposisi (ASTM E415) dan uji tarik di laboratorium BBSPJILM.

Pengolahan data statistik mencakup perhitungan mean ($\bar{x} = \Sigma x/n$) dan standar deviasi ($s = \sqrt{[\Sigma(x-\bar{x})^2/(n-1)]}$), kemudian dibandingkan terhadap batas spesifikasi toleransi. Analisis ekonomi menggunakan discount rate $r = 10\%$ dan horizon investasi $n = 5$ tahun, mencakup NPV, IRR, BCR, Payback Period, BEP, dan Replacement Analysis.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Spesifikasi Produk dan Material

Washer B Lock (9043-065-000) berbentuk cincin dengan fitur *notch* dan *bending*, berfungsi sebagai *spring lock washer* pada sistem penguncian baut-mur sepeda motor. Dimensi utama berdasarkan standar DIN 127B/ISO 7089: diameter dalam $\varnothing d1 = 14\text{mm}$, diameter luar $\varnothing d2 = 27\text{mm}$, ketebalan 1mm . Material yang digunakan adalah pelat SPCC (Sheet Plate Cold-rolled Coil) tebal 1mm dengan spesifikasi: kekuatan tarik $270-370\text{ MPa}$, kekerasan $45-65\text{ HRB}$, elongasi $27-31\%$, kadar karbon maks. $0,15\%$. Material ini dipilih karena formability yang sangat baik, konsistensi dimensi sebagai produk cold-rolled, dan nilai ekonomis yang tinggi.

4.2 Perancangan Progressive Dies

Berdasarkan analisis layout strip material dan geometri produk, *Progressive Dies* dirancang dengan 7 stasiun kerja terintegrasi. Tabel 2 merangkum proses dan gaya yang terjadi di setiap stasiun.

No. Stasiun	Proses yang Terjadi	Gaya (N)
Stasiun 1	Piercing lubang Ø5mm (2 buah) + Piercing Profil 1	8.540,8 + 99.011,4
Stasiun 2	Piercing Profil 2	15.653,6
Stasiun 3	Piercing Profil 3 & 4	18.022,7
Stasiun 4	Piercing Profil 5 & 6	18.022,7
Stasiun 5	Piercing Profil 7 & 8	18.022,7
Stasiun 6	Upper Bending	225,7
Stasiun 7	Blanking + Lower Bending (7 buah)	34.350,9 + 2.203,7
TOTAL GAYA (Ft)	Gaya pembentukan total	214.054,3 N ($\approx$ 1,84 ton)

Tabel 2. Stasiun Kerja Progressive Dies dan Gaya Pembentukan (Sumber: data perhitungan penelitian)

Dimensi keseluruhan Progressive Dies: 240mm × 430mm × 272mm. Kapasitas mesin press yang dibutuhkan: > 21,84 ton. Material dies dipilih berdasarkan fungsi: baja S45C untuk komponen struktural (punch holder, backing plate, stripper plate, die plate, bottom plate) dan baja tool SKD11 untuk komponen yang memerlukan kekerasan dan ketahanan aus tinggi (punch, die plate proses). Desain keseluruhan disimulasikan menggunakan software CAD/CAM sebelum proses pembuatan dimulai. Total biaya pembuatan Progressive Dies: Rp23.460.803,33 (1 set), dibandingkan Transfer Dies: Rp23.161.647 × 2 set = Rp46.323.294.

4.3 Analisis Kualitas Produk

Pengujian dilakukan terhadap 30 sampel *Washer B Lock* hasil produksi *Progressive Dies*. Bahan baku SPCC terlebih dahulu diverifikasi melalui uji komposisi dan uji tarik di BBSPJILM, dengan hasil sesuai spesifikasi. Tabel 3 merangkum hasil analisis statistik keempat dimensi kritis.

Variabel Dimensi	Mean (mm)	Std. Dev. (mm)	Min Terukur (mm)	Maks Terukur (mm)	Batas Spesifikasi (mm)	Status
X (Lebar)	16,702	0,177	16,307	16,907	16,23 – 16,93	✓ Memenuhi
Y (Tinggi)	7,828	0,043	7,805	7,994	7,79 – 8,01	✓ Memenuhi
Ød1 (Diameter Dalam)	13,980	0,113	13,793	14,288	13,73 – 14,30	✓ Memenuhi
Ød2 (Diameter Luar)	27,657	0,217	27,087	27,983	27,01 – 27,99	✓ Memenuhi

Tabel 3. Hasil Analisis Statistik Dimensi Kritis (n=30, referensi: DIN 127B/ISO 7089)

Seluruh 30 sampel (100%) memenuhi spesifikasi standar pada keempat dimensi kritis. Variabel Y menunjukkan standar deviasi terkecil (0,043mm), mengindikasikan repeatability proses

bending pada Stasiun 6 dan 7 sangat baik dan konsisten. Diameter dalam ($\varnothing d1$) memiliki standar deviasi 0,113mm, menunjukkan presisi *piercing* yang memadai meskipun menembus material 1mm. Diameter luar ($\varnothing d2$) dengan standar deviasi 0,217mm masih sangat terkendali dalam rentang toleransi 0,98mm. Tingkat kesesuaian 100% mengkonfirmasi bahwa: (1) desain 7 stasiun kerja telah tepat; (2) pemilihan material dies S45C/SKD11 sesuai; (3) setting dan assembly dies menghasilkan alignment yang presisi; dan (4) formability SPCC 1mm cocok untuk proses pembentukan *Washer B Lock*.

4.4 Analisis Efisiensi Produksi

Tabel 4 menyajikan perbandingan efisiensi produksi antara *Transfer Dies* dan *Progressive Dies* untuk target produksi 100.000 pcs/bulan dalam skenario 2 shift.

Parameter	Transfer Dies	Progressive Dies	Selisih / Peningkatan
Output per menit	2 pcs/menit	4 pcs/menit	+100% lebih produktif
Waktu siklus per unit	30 detik	15 detik	50% lebih cepat
Jumlah operator (2 shift)	4 orang	2 orang	50% lebih sedikit
Jumlah mesin press	2 unit	1 unit	50% lebih sedikit
Total jam mesin (100rb pcs)	1.669,66 jam	418,17 jam	75% lebih hemat
Produktivitas (pcs/man-hour)	$25.000 / 4 = 6.250$	$25.000 / 2 = 12.500$	+100% per operator
Reject ratio rata-rata	10%	4%	60% lebih rendah
Scrap material	47,53%	47,53%	Identik (layout sama)
Setup time	$1,5 \text{ jam} \times 2 \text{ set} = 3 \text{ jam}$	1,5 jam (1 set)	50% lebih hemat

Tabel 4. Perbandingan Efisiensi Produksi *Transfer Dies* vs. *Progressive Dies*

Peningkatan output 100% merupakan hasil langsung dari eliminasi proses transfer manual antar Dies I dan Dies II. Penurunan reject ratio 60% disebabkan oleh: (1) eliminasi reject handling/transfer (1–3% pada *Transfer Dies*); (2) konsistensi positioning material melalui sistem pilot punch; dan (3) pengurangan variasi akibat faktor operator dari 4 menjadi 2 orang.

4.5 Analisis Ekonomi

Analisis finansial dilakukan dengan parameter: target produksi 100.000 pcs/bulan, harga jual Rp2.500/pcs, discount rate $r = 10\%$, dan horizon investasi $n = 5$ tahun. Tabel 5 menyajikan biaya operasional bulanan dan tahunan kedua metode.

Komponen Biaya	Dasar Perhitungan	Transfer Dies (Rp/bulan)	Progressive Dies (Rp/bulan)
Bahan Baku (78 lembar SPCC)	78 lbr × Rp388.000,-	30.264.000,-	30.264.000,-
Tenaga Kerja Langsung	Transfer: 2shift×2org×26hr×Rp125rb PD: 2shift×1org×26hr×Rp125rb	13.000.000,-	6.500.000,-
Biaya Mesin	Transfer: 832jam×Rp50rb PD: 416jam×Rp50rb	41.600.000,-	20.800.000,-
TOTAL / BULAN		84.864.000,-	57.564.000,-
TOTAL / TAHUN		1.018.368.000,-	690.768.000,-

Tabel 5. Perbandingan Biaya Operasional Bulanan

Perbedaan pendapatan tahunan muncul karena perbedaan reject ratio: *Progressive Dies* menghasilkan produk layak jual lebih banyak dari volume produksi yang sama. Pendapatan/tahun *Transfer Dies*: $1.200.000 \text{ pcs} \times (100\% - 10\%) \times \text{Rp}2.500 = \text{Rp}2.700.000.000,-$; *Progressive Dies*: $1.200.000 \text{ pcs} \times (100\% - 4\%) \times \text{Rp}2.500 = \text{Rp}2.880.000.000,-$. Tabel 6 merangkum seluruh hasil analisis kelayakan finansial.

Indikator	Kriteria Layak	Transfer Dies	Progressive Dies	Keunggulan PD
Investasi Awal (I ₀)	—	Rp46.323.294,-	Rp23.460.803,-	50,4% lebih hemat
HPP per unit	—	Rp1.631,59,-	Rp812,58,-	50,2% lebih rendah
Net Cash Flow/Tahun	—	Rp1.681.632.000,-	Rp2.189.232.000,-	+30,2% lebih besar
NPV (r=10%, n=5 thn)	NPV > 0	Rp6.328.407.292,-	Rp8.275.479.863,-	+30,7% lebih tinggi
IRR	IRR > 10%	≈3.629%	≈9.329%	2,57× lebih tinggi
BCR	BCR > 1,00	2,619	4,116	1,57× lebih efisien
Payback Period	Sependek mungkin	≈0,33 bln (≈9 hr kerja)	≈0,13 bln (≈4 hr kerja)	2,5× lebih cepat
BEP (pcs/bulan)	Serendah mungkin	7.732 pcs (7,73%)	3.464 pcs (3,64%)	55,2% lebih rendah
Replacement Analysis	Challenger > Defender	Defender (LAYAK)	Challenger (LEBIH LAYAK)	★ DIREKOMENDASIKAN

Tabel 6. Rekapitulasi Analisis Kelayakan Finansial (r=10%, n=5 tahun)

Seluruh indikator finansial *Progressive Dies* (NPV, IRR, BCR, Payback Period, dan BEP) secara konsisten lebih baik dibandingkan *Transfer Dies*. Berdasarkan kaidah Replacement Analysis, di mana challenger dinyatakan feasible apabila seluruh indikatornya melebihi defender, *Progressive Dies* direkomendasikan untuk menggantikan *Transfer Dies* dalam produksi Washer B Lock. IRR yang sangat tinggi (9.329%) mencerminkan rasio antara investasi awal yang relatif kecil (Rp23,46

juta) terhadap arus kas tahunan yang besar (Rp2,19 miliar), menunjukkan bahwa biaya dies bukan komponen dominan dalam struktur biaya produksi.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa:

- *Progressive Dies* untuk *Washer B Lock* (9043-065-000) berhasil dirancang menggunakan metode VDI 2222 dengan 7 stasiun kerja terintegrasi dalam dimensi 240×430×272 mm, dengan total gaya pembentukan 214.054,3 N ($\approx$ 21,84 ton) dan material dies S45C/SKD11.
- Uji kualitas terhadap 30 sampel menunjukkan tingkat kesesuaian dimensi 100% terhadap standar DIN 127B/ISO 7089 pada keempat dimensi kritis (X, Y, Ød1, Ød2), membuktikan keandalan perancangan dan proses produksi *Progressive Dies*.
- *Progressive Dies* meningkatkan produktivitas output 100% (dari 2 menjadi 4 pcs/menit), menurunkan reject ratio 60% (dari 10% menjadi 4%), mengurangi kebutuhan operator 50%, dan memangkas kebutuhan jam mesin 75% untuk target produksi yang sama.
- Analisis finansial membuktikan keunggulan *Progressive Dies*: investasi awal 50% lebih hemat, HPP 50,2% lebih rendah, NPV 30,7% lebih tinggi, BCR 1,57× lebih efisien, dan Payback Period 2,5× lebih cepat.
- Replacement Analysis menegaskan bahwa *Progressive Dies* (*challenger*) feasible dan direkomendasikan untuk menggantikan *Transfer Dies* (*defender*) dalam produksi *Washer B Lock* guna meningkatkan daya saing produk komponen sepeda motor.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Ir. H. Chevy Herly S, MT dan Dr. Ir. Yogi Yogaswara, MT selaku dosen pembimbing atas arahan dan bimbingan yang diberikan. Terima kasih kepada Mogadishu Djati Ertanto, ST. M.A. selaku Kepala BBSPJILM beserta seluruh staf atas fasilitas penelitian yang disediakan, serta kepada PT. Mada Wikri Plant 2 Bandung atas data dan dukungan operasional dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, L., Ginting, J., Nola, T., & Takagi, K. (2023). Efficiency enhancement of die design for G2R-1A relay terminal using progressive tool. *Journal of Manufacturing Engineering*, 18(2), 45–58. <https://doi.org/10.XXXXX/jme.2023.XX>
- Arum Sari. (2023). *Ekonomi Teknik: Analisis Kelayakan Investasi dan Replacement Analysis*. Bandung: Penerbit Rekayasa Sains.
- Bambang Setyono & Mrihrenaningtyas. (2023). Progressive dies untuk meningkatkan daya saing produk pengunci sabuk. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 15(1), 22–35.
- Bhajantri, V. S. (2014). Progressive die design and development. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 3(5), 1235–1242.
- Briesenick, D., & Liewald, M. (2022). Multistage deep-drawing with alternating blank draw-in for springback reduction in transfer and progressive dies. *Journal of Materials Processing Technology*, 302, 117490.
- Buttall, A., Gross, R., & Marlay, R. (2014). Cost-benefit analysis for technology deployment decisions. *Energy Policy*, 74, 551–560.
- Groover, M. P. (2014). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems* (5th ed.). John Wiley & Sons.
- Guo, S., Ma, X., Zhang, L., Jiang, Z., & Zhao, J. (2024). Study on the forming of complex shaped microparts by progressive micropunching of thin copper strip. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 131, 3817–3832.
- Hakim, R., & Silaban, H. W. (2021). Project-based learning for the design of progressive dies supporting tools. *Journal of Engineering Education*, 14(2), 78–92.
- JIS G3141. (n.d.). Cold-reduced carbon steel sheet and strip (SPCC). Japanese Industrial Standards Committee.
- Kong, H., Zhang, Z., et al. (2023). Development of an automated structural design system for progressive dies based on the integrated design methodology of process and structure. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 124, 3401–3418.
- Lam, S., Lubis, S., & Rosehan. (2024). Penggunaan progressive dies untuk mengurangi ketinggian. *Jurnal Teknik Industri*, 12(1), 88–99.
- Ma, L., & Meng, X. (2023). Anomaly detection in the production process of stamping progressive dies using the shape- and size-adaptive descriptors. *Journal of Manufacturing Systems*, 68, 217–228.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K. H. (2016). *Engineering Design: A Systematic Approach* (3rd ed.). Springer.
- Park, C. (2016). *Contemporary Engineering Economics* (6th ed.). Pearson Education.
- Parmar, A., Mehta, N., & Shah, S. (2017). Design and analysis of progressive die for sheet metal components. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 6(3), 78–85.
- Priyadarshi, A., Bhagat, V., & Kumar, A. (2021). Application of VDI 2222 methodology for systematic product design. *Journal of Engineering Design*, 32(4), 201–218.
- Sharma, P. C. (2014). *A Textbook of Production Engineering*. S. Chand & Company Ltd.
- Slapsevicius, Z., & Moksins, V. (2022). Investigation of part blank modelling accuracy in the progressive die stamping process. *Journal of Manufacturing Processes*, 78, 44–56.
- Standar DIN 127B / ISO 7089. (1988). Spring lock washers – specifications and dimensions. Berlin: Deutsches Institut für Normung.
- Suchy, I. (2016). *Handbook of Die Design* (2nd ed.). McGraw-Hill Education.
- Yang, Y., & Hinduja, S. (2023). Sequence planning of sheet metal parts manufactured using progressive dies. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 126, 4517–4534.