

Tinjauan Literatur: Analisis Pengaruh Cacat Hasil Deep Drawing

**Rifkiya Albi A¹, Muhammad Aji Septiantoro¹, Muhammad Humam Nursetyo¹,
Muhammad Zaini Shadewa¹, Ghifary Rahardian¹, Sri Hastuti^{*1}**

¹Program Studi S1 Teknik Mesin, Universitas Tidar,
Kota Magelang, Jawa Tengah, Indonesia
*E-mail: albiananda23@gmail.com

Abstrak

Deep drawing adalah proses pembentukan pelat logam untuk menghasilkan komponen berbentuk silindris atau bentuk yang akurat. Akan tetapi dalam proses ini sering rentan terhadap cacat seperti wrinkling (kerutan), thinning (penipisan), dan robek (tearing), dalam hal ini dapat menurunkan kualitas produk yang banyak. Langkah ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pada proses tooling terhadap cacat pada proses hasil deep drawing. Penelitian ini menggunakan metode studi literatur dari berbagai hasil jurnal yang membahas simulasi proses deep drawing pada material baja karbon rendah, dan aluminium A16111, di mana keterbatasan studi ini terletak pada variasi jenis material yang terbatas pada sumber data sekunder. Berikut ini yang di analisis yaitu diameter pada blank, die clearance, radius die, serta Blank Holder Force (BHF). Hasil penelitian menunjukkan bahwa keberhasilan proses deep drawing bergantung pada interaksi antar parameter. Peningkatan Blank Holder Force (BHF) untuk meminimalkan wrinkling harus diimbangi dengan optimasi die radius dan clearance. Dengan demikian, pengaturan parameter yang presisi dalam proses deep drawing sangat diperlukan untuk meminimalkan cacat pembentukan dan untuk meningkatkan kualitas produk akhir.

Kata kunci: Cacat pembentukan, Deep drawing, Tooling parameter.

1. Pendahuluan

Kebutuhan untuk memproduksi berbagai komponen miniatur khususnya yang terbuat dari lembaran logam semakin meningkat. Untuk menghasilkan komponen mikro dengan fitur yang lebih kompleks dan standar kualitas dan fungsionalitas yang tinggi, perusahaan manufaktur harus mengembangkan proses fabrikasi baru dan inovatif sehingga perusahaan manufaktur tetap dapat bersaing. Untuk produk dalam ukuran nanometer dan rentang mikrometer, merupakan tantangan teknis yang signifikan untuk menggambarkan bagaimana komponen ini diukur, dibuat, ditangani, dirakit dan dikendalikan.

Jika produk mikro disajikan oleh pasar yang besar, sangat penting untuk mengembangkan teknologi produksi, proses dan material yang memiliki kemampuan untuk mendukung produksi industri disebutkan pada perkembangan teknologi dalam skala mikro, industri harus mempertimbangkan teknologi modern di rantai produksi produk mikro. Dalam pembentukan makro sudah diketahui, bahwa kecepatan punch memiliki pengaruh pada proses deep drawing. Pengaruh ini sangat disebabkan oleh perilaku gesekan tergantung kecepatan antara blank dan tool punch. Pengaruh lebih lanjut adalah perilaku pembentukan bahan yang bergantung pada laju regangan. Dalam rentang mikro, pengaruh kecepatan punch pada proses deep drawing, bisa karena efek ukuran, berbeda dari yang ada di kisaran makro.

Proses deep drawing adalah proses pembentukan material logam mengikuti cetakan, dimana material logam dijepit dan dipasang pada blank holder (penahan) dan dies (cetakan) yang selanjutnya dengan bantuan mesin press dilakukan penekanan, bentuk akhir ditentukan oleh punch sebagai penekan dan cetakan sebagai penahan benda kerja saat ditekan oleh punch, sehingga terbentuk komponen yang diinginkan. Pada proses deep drawing banyak kegagalan terjadi dalam proses manufakturnya seperti halnya pelat sobek, cacat kerut (wrinkling), adanya gaya springback yang dapat menjadikan draw piece tidak sesuai dengan dimensi yang diinginkan.

2. Metodologi

Metode penelitian ini menggunakan teknik pengumpulan data berbasis studi literatur, yaitu dengan menelaah berbagai jurnal ilmiah yang relevan dengan topik penelitian. Proses pengumpulan data dilakukan melalui identifikasi, seleksi, dan analisis artikel jurnal yang dipublikasikan dalam rentang waktu tertentu. Jurnal-jurnal tersebut dipilih berdasarkan kesesuaian tema, kredibilitas sumber, serta kontribusinya terhadap pemahaman konsep yang diteliti. Data yang diperoleh kemudian disintesis untuk membangun dasar teori, memperkuat analisis, serta mendukung kesimpulan penelitian.

Pada penelitian pertama ini menggunakan material SPCC-SD baja karbon rendah tebal 0,8 mm dengan rangkaian uji tarik, uji kekerasan, dan uji daktilitas untuk mengetahui karakteristik mekanik yang berpengaruh terhadap potensi cacat pada proses deep drawing, seperti tearing, wrinkling, dan earring. Die dan punch diperiksa secara dimensional serta kondisi permukaannya untuk memastikan distribusi gaya yang tepat dan menghindari cacat akibat gesekan atau ketidaktepatan bentuk. Diameter blank dihitung berdasarkan geometri dop-pipe 2 inci menggunakan persamaan standar untuk memperoleh drawing ratio yang aman, karena nilai yang terlalu besar meningkatkan risiko robek, sedangkan terlalu kecil menimbulkan kerutan. Seluruh data gaya tekan, deformasi, dan parameter proses dicatat untuk menganalisis hubungan antara sifat material, kualitas tooling, dan penentuan blank terhadap munculnya cacat pada produk hasil deep drawing. (Ghazi Tikamori¹, 2024)

Metode penelitian dalam program ini menggunakan pendekatan Participatory Action Research (PAR), di mana tim peneliti dan mitra UKM bekerja bersama untuk menganalisis dan memperbaiki proses deep drawing terkait penyebab cacat seperti robek, kerutan, dan ketidaktepatan bentuk. Tahapan penelitian dimulai dari identifikasi masalah proses produksi terutama kesalahan penentuan blank size dan drawing ratio yang terbukti menjadi sumber utama cacat pada hasil deep drawing. Selanjutnya dilakukan perhitungan teknis meliputi optimasi dimensi blank, rasio D/H, radius die, serta clearance die punch untuk memastikan distribusi gaya yang tepat dan mengurangi risiko cacat. Proses pelatihan dan workshop kemudian diberikan kepada mitra untuk meningkatkan kemampuan menghitung dan menerapkan parameter deep drawing secara benar. Tahap uji coba produksi dilakukan menggunakan material SPCC-SD dan tooling SKD11 untuk mengevaluasi perubahan parameter terhadap kualitas hasil pembentukan. Evaluasi dilakukan melalui pemantauan hasil produksi, identifikasi cacat, serta perbaikan berkelanjutan. Optimalisasi blank yang tepat berhasil menghilangkan proses trimming dan menurunkan potensi cacat, menunjukkan bahwa metode PAR efektif dalam menganalisis sekaligus mengatasi cacat pada proses deep drawing. (Karyadi¹, 2024)

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dan simulasi untuk menganalisis pengaruh cacat kerutan (wrinkle) pada proses deep drawing lembaran SPCC dengan ketebalan 0.8 mm dan 1.0 mm. Pengujian dilakukan menggunakan mesin press mekanik 600 kN dengan kecepatan punch 40 Stroke Per Minute (SPM) Minus, sedangkan pengukuran kedalaman kerutan pada produk berbentuk cylindrical flange cup dilakukan menggunakan Formtracer SV-C500. Variasi utama pada metode ini adalah perubahan Blank Holder Force (BHF) dari 0 hingga 21 kN, yang kemudian dibandingkan antara hasil simulasi (SolidWorks/ANSYS/ABAQUS) dan hasil eksperimen. Baik simulasi maupun eksperimen menunjukkan bahwa nilai BHF rendah menyebabkan aliran material terlalu cepat, memicu tegangan tekan berlebih dan buckling lokal yang menghasilkan kerutan pada flange. Sebaliknya, peningkatan BHF menghasilkan distribusi tegangan-regangan yang lebih seragam sehingga kedalaman kerutan menurun secara signifikan dan hilang pada BHF ≥ 15 kN. Perbedaan nilai kerutan antara simulasi dan eksperimen terutama disebabkan oleh perbedaan parameter material, namun keduanya menunjukkan tren yang konsisten. Dengan demikian, metode penelitian ini secara efektif menghubungkan variasi parameter proses khususnya BHF dengan terbentuknya cacat wrinkle sehingga mampu mengidentifikasi kondisi optimumnya untuk meminimalkan cacat pada proses deep drawing. (Bambang Mulyanto¹, 2020)

Penelitian ini dilakukan melalui pemodelan fisik dan simulasi elemen hingga menggunakan ABAQUS dengan memodelkan punch, lower die, dan blank holder untuk menganalisis perilaku material selama proses deep drawing, sementara eksperimen fisik dilakukan pada variasi diameter pelat, radius die, dan die clearance. Pada simulasi, material dimodelkan sebagai elastis-plastis dengan isotropic hardening dan melibatkan gesekan untuk mendekati kondisi nyata. Hasilnya menunjukkan bahwa cacat utama seperti wrinkling, tearing, dan pecah terjadi akibat distribusi tegangan yang tidak merata, terutama pada flange dan radius punch. Radius die yang terlalu kecil menyebabkan penipisan berlebih (ironing) sehingga memicu tearing, sedangkan clearance yang terlalu besar menghasilkan kerut (wrinkling) karena material tidak tertahan dengan baik oleh blank holder. Baik hasil eksperimen maupun simulasi menegaskan bahwa parameter proses seperti die radius, clearance, dan gaya penjepit sangat menentukan kualitas hasil deep drawing dan kesalahan pemilihannya langsung meningkatkan potensi cacat pada produk. (Hendrawan, 2009)

Penelitian ini dilakukan melalui serangkaian tahapan mulai dari identifikasi produk, analisis kebutuhan, hingga evaluasi pengaruh parameter proses deep drawing terhadap kemampuan bentuk material menggunakan Forming Limit Diagram (FLD). Setelah data awal diperoleh, dilakukan analisis proses dengan software simulasi untuk memeriksa distribusi ketebalan, potensi kerutan (wrinkling), serta zona kritis yang berpotensi menimbulkan cacat. Simulasi inverse kemudian digunakan untuk memvalidasi hasil bentangan produk dan memprediksi perilaku deformasi material Al6111, menunjukkan bahwa produk berada di bawah kurva FLD sehingga aman dari risiko cacat seperti retak atau kerutan berlebih. Selanjutnya, rancangan combination tool dikembangkan menggunakan metode VDI 2222 dengan mempertimbangkan faktor fungsi, keterbuatan, dan perawatan untuk meminimalkan cacat selama pembentukan. Hasil akhir berupa draft rancangan tool menunjukkan bahwa parameter proses yang tepat, seperti pemilihan fix blank, analisis ketebalan, dan perancangan konstruksi inverted tool, berperan penting dalam mencegah cacat deep drawing dan memastikan produk dapat dibentuk secara aman serta efisien. (Riona Ihsan Media1, 2017)

3. Hasil dan pembahasan

Penelitian dilakukan dengan pemodelan fisik dan metode elemen hingga dengan menggunakan software ABAQUS 65-3 SE. Eksperimen dilakukan dengan sebuah alat yang terdiri dari: Bagian bagian dari peralatan (tool & die) secara umum terdiri dari: 1). Punch: Peralatan die bagian atas yang berfungsi untuk menekan pelat ke bawah. 2). Lower Die: Bagian die yang bawah yang berfungsi untuk menahan tekanan punch saat proses penekanan pelat. 3). Blank Holder: Bagian die yang bergerak naik turun, berfungsi sebagai penjepit pelat yang ditekan agar tidak bergeser. Pada metode elemen hingga dengan software ABAQUS, langkah-langkah yang dilakukan adalah mulai dari menentukan geometri dan model benda, model material dan perilaku permukaan yang kontak, kondisi batas dan pembebanan, serta model visualisasinya. Karena simetri, maka hanya sebagian dari benda dan tool yang dimodelkan. Material menggunakan jenis elastic plastic dengan mempertimbangkan isotropic hardening. Koefisien gesekan digunakan dalam simulasi untuk mencerminkan kondisi sebenarnya dari eksperimen.

Penelitian ini dilakukan melalui kombinasi eksperimen, simulasi numerik, dan validasi statistik untuk menganalisis pengaruh cacat terutama wrinkling, thinning, dan tearing pada proses deep drawing material SPCC-SD tebal 0.8 mm. Pengukuran ketebalan awal, diameter blank, dan konfigurasi punch die digunakan sebagai parameter input dalam simulasi ABAQUS yang memodelkan distribusi deformasi, rasio regangan, dan kecenderungan cacat berdasarkan perubahan displacement punch. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pengurangan radius die serta clearance yang terlalu besar menyebabkan peningkatan thinning hingga 17.5% pada elemen kritis (E46–E48), sedangkan distribusi gaya penjepit (blank holding force) yang tidak merata menimbulkan wrinkling dengan kedalaman rata-rata 0.35–0.52 mm. Validasi eksperimental menunjukkan deviasi ketebalan antara hasil numerik dan aktual berada pada kisaran 0.1–10.9%, dengan

korelasi Pearson mencapai ± 0.95 pada sebagian besar elemen, mengindikasikan kesesuaian tinggi antara model numerik dan fenomena cacat aktual. Variasi ketebalan, korelasi ketidakstabilan flange, serta kedalaman kerutan menunjukkan bahwa cacat deep drawing sangat dipengaruhi oleh interaksi radius die, clearance, gesekan, dan displacement punch, sehingga optimasi parameter tersebut menjadi kunci dalam mencegah cacat pembentukan. (Karyadi1, 2024).

Wrinkle pada proses deep drawing material baja karbon SPCC dengan ketebalan 0.8 mm dan 1.0 mm menggunakan pendekatan simulasi Solidworks dan validasi eksperimental. Simulasi dilakukan dengan memvariasikan Blank Holder Force (BHF) dari 0 hingga 21 kN untuk mengamati respons deformasi material terutama pada area flange, yang merupakan zona paling rentan terhadap ketidakstabilan kompresi dan munculnya wrinkle. Hasil simulasi menunjukkan bahwa wrinkle defect muncul signifikan pada kondisi BHF rendah (0–12 kN) akibat aliran material yang tidak terkendali dan akumulasi tegangan kompresi aksial pada daerah flange. Kedalaman wrinkle menurun secara linier seiring peningkatan BHF, hingga tidak terdeteksi pada $BHF \geq 15$ kN baik pada ketebalan 0.8 mm maupun 1.0 mm. Material yang lebih tipis (0.8 mm) menunjukkan kecenderungan cacat lebih besar dengan area wrinkling mencapai rata-rata 30.7%, lebih tinggi 10.2% dibanding material 1.0 mm, yang mengindikasikan pengaruh kekakuan pelat dan anisotropi terhadap kestabilan bentuk.

Hasil eksperimen mendukung temuan simulasi, di mana pola kedalaman wrinkle pada variasi BHF menunjukkan tren serupa: wrinkle maksimum pada BHF 0 kN (0.34 mm simulasi; 0.45 mm eksperimen untuk 0.8 mm) dan penurunan bertahap hingga mencapai 0 mm pada BHF 15–21 kN. Pada ketebalan 1.0 mm, wrinkle awal lebih besar (0.54 mm simulasi; 0.64 mm eksperimen), namun tetap menghilang pada $BHF \geq 15$ kN. Perbedaan nilai cacat antara simulasi dan eksperimen (maksimal 0.22 mm pada BHF 3–6 kN) terutama disebabkan oleh ketidaksesuaian parameter material seperti strain hardening, anisotropi, dan koefisien gesek aktual yang tidak sepenuhnya terwakili dalam pemodelan numerik. Grafik perbandingan simulasi–eksperimen menunjukkan konsistensi tren bahwa peningkatan gaya penjepit menghasilkan distribusi tegangan plastis yang lebih merata sehingga mencegah tekukan lokal dan instabilitas kompresi pada flange.

Proses analisis pembentukan material Al6111 pada produk air vent menunjukkan bahwa cacat pembentukan (forming defects) yang muncul selama proses deep drawing dipengaruhi secara signifikan oleh kondisi distribusi regangan, kecukupan desain geometri, serta parameter proses seperti ketebalan awal material, jalur aliran material, dan konfigurasi tooling. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan modul inverse forming, dua cacat utama yang teridentifikasi adalah kerutan (wrinkling) dan penipisan material (thinning), yang keduanya merupakan indikator sensitivitas deformasi pada daerah flange dan area transisi kontur produk.

Hasil distribusi ketebalan pada Gambar 12 menunjukkan bahwa terjadi penebalan lokal (thickening) hingga mencapai 1.2 mm pada beberapa area yang mengalami akumulasi tegangan kompresi. Ketidakseimbangan aliran material pada daerah ini menyebabkan lipatan dini yang memicu terbentuknya wrinkling. Sementara itu, pada area dengan tarikan kuat, material mengalami penipisan signifikan hingga 0.8 mm, mengindikasikan adanya regangan tarik yang tinggi yang mendekati batas aman pembentukan. Wilayah yang mengalami thinning berpotensi menjadi lokasi thinning apabila parameter proses tidak dikendalikan, terutama jika beban tarik melebihi kapabilitas regangan material Al6111.

Analisis kerutan pada Gambar 13 memperlihatkan bahwa wrinkling terdistribusi dalam beberapa kategori, yaitu kerutan kuat, kerutan sedang, dan area aman tanpa kerutan. Kerutan kuat terutama muncul pada daerah dengan gaya jepit (blank holding) yang relatif rendah sehingga material terdorong masuk ke area pembentukan tanpa hambatan yang cukup. Hal ini selaras dengan teori deep drawing bahwa kekurangan gaya penahan menyebabkan akumulasi tegangan kompresi radial, sehingga material tidak stabil dan melengkung membentuk gelombang (wave formation). Area kerutan sedang

berada pada zona transisi antara kompresi dan tarik, di mana keseimbangan tegangan relatif namun masih belum optimal untuk mendapatkan permukaan bebas cacat.

Analisis FLD (Forming Limit Diagram) menunjukkan bahwa seluruh hasil simulasi berada di bawah kurva batas mampu bentuk, yang berarti produk Al6111 secara umum aman untuk dibentuk tanpa mengalami necking atau kegagalan tarik. Namun, meskipun berada dalam zona aman FLD, cacat kerutan tetap terjadi karena FLD hanya membatasi kegagalan tarik, bukan cacat akibat ketidakstabilan kompresi seperti wrinkling. Hal ini menegaskan bahwa wrinkling bergantung pada kombinasi antara gaya pembentukan, kekuatan struktur blank holder, dan karakteristik elastoplastis material.

Perbandingan antara hasil perhitungan bentangan secara simulasi dan manual menunjukkan penyimpangan sebesar 0.1%, yang mengindikasikan bahwa proses pembentukan telah dimodelkan dengan sangat baik dan memiliki tingkat akurasi tinggi. Hal ini memberikan keyakinan bahwa cacat yang teridentifikasi pada hasil simulasi merupakan representasi yang valid terhadap potensi cacat pada proses nyata.

Untuk mengatasi cacat-cacat tersebut, rancangan combination tool menggunakan metode VDI 2222 dipilih dengan konstruksi inverted tool yang dilengkapi independent stripper berbasis mekanisme cam. Desain ini dipilih karena mampu menghasilkan kontrol aliran material yang lebih stabil, menahan material secara lebih efektif pada daerah kritis, serta menurunkan potensi kerutan dibandingkan konfigurasi push-through tool. Penggunaan inverted tool juga meningkatkan efisiensi operasi pembuatan dan memberikan hasil pembentukan yang lebih konsisten karena mampu mengontrol gaya dan arah deformasi lebih merata.

Hasil analisis proses deep drawing menunjukkan bahwa peningkatan Blank Holder Force (BHF) memberikan pengaruh signifikan terhadap berkurangnya cacat kerutan (wrinkling). Pada ketebalan material 0,8 mm dan 1,0 mm, kedalaman kerutan menurun seiring bertambahnya BHF, di mana pada 15 kN kerutan hampir hilang, dan pada 20–25 kN kerutan tidak lagi terbentuk. Distribusi ketebalan pada elemen-elemen pelat menunjukkan variasi yang wajar, dengan nilai berkisar antara 0,75 hingga 0,84 mm. Elemen E47 dan E48 mengalami penebalan terbesar, yang menandakan terjadinya akumulasi regangan aksial pada area tertentu akibat aliran material yang tidak merata.

Perbandingan hasil simulasi dan eksperimen melalui korelasi Pearson menunjukkan kecocokan yang sangat tinggi pada hampir semua elemen (nilai 0,932–0,982), kecuali pada elemen E47 dan E48 yang menunjukkan korelasi negatif akibat perbedaan pola penebalan pada area kritis. Tingkat deviasi antara simulasi dan eksperimen berada pada kisaran 0,1% hingga 10,67%, dengan rata-rata sekitar 4,62%, yang menegaskan bahwa model simulasi memiliki tingkat akurasi yang baik dalam memprediksi distribusi ketebalan dan pola cacat. Secara keseluruhan, parameter BHF, radius die, dan distribusi regangan terbukti memiliki peranan dominan dalam menentukan kemunculan cacat seperti wrinkling, tearing, maupun penipisan, sehingga analisis ini dapat menjadi dasar evaluasi keandalan desain proses dan optimasi parameter deep drawing. (Ghazi Tikamori1, 2024).

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa wrinkle defect merupakan cacat dominan pada proses deep drawing SPCC dan sangat dipengaruhi oleh kombinasi ketebalan material serta besarnya BHF. Penentuan BHF optimal terbukti menjadi parameter kunci untuk mengendalikan aliran material dan mencegah cacat pembentukan. Nilai BHF minimal 15 kN direkomendasikan untuk menghasilkan produk flange cup cylinder tanpa cacat wrinkling pada kedua ketebalan yang diuji. Selain itu, simulasi sederhana dengan Solidworks terbukti efektif sebagai alat prediksi awal untuk menentukan parameter pembentukan yang aman sebelum dilakukan proses fabrikasi aktual, sehingga mampu meningkatkan efisiensi perancangan dies dan validasi eksperimen. (Bambang Mulyanto1, 2020).

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kerutan dan penipisan merupakan dua cacat dominan dalam proses deep drawing material Al6111. Kerutan terutama disebabkan oleh distribusi gaya penahan yang tidak merata, aliran material berlebih pada flange, serta ketidakseimbangan kompresi radial. Sementara penipisan dipengaruhi oleh regangan tarik berlebih pada daerah geometri curam. FLD membantu memastikan bahwa proses berada dalam zona aman, tetapi pengendalian cacat harus dilakukan melalui optimasi gaya, desain die, dan pengendalian jalur alir material. Pemilihan inverted combination tool merupakan solusi konseptual yang terbukti efektif dalam mengurangi potensi cacat dan meningkatkan kualitas produk akhir. (Riona Ihsan Media1, 2017)

4. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil pembahasan, bahwa cacat pada proses deep drawing sangat dipengaruhi oleh kombinasi parameter proses, geometri tooling, dan karakteristik material. Diameter blank yang terlalu besar meningkatkan tegangan kompresi radial sehingga memicu terjadinya cacat wrinkling dan robek. Selain itu, radius die yang terlalu kecil menyebabkan penipisan material yang signifikan dan meningkatkan risiko tearing pada area kritis, karena radius yang tajam dapat meningkatkan hambatan gesek sehingga material tertarik secara paksa dan mengalami penipisan ekstrem akibat tegangan tarik yang melebihi kekuatan material tersebut. Selain itu, die clearance yang terlalu besar membuat aliran material tidak stabil dan memicu terbentuknya kerutan. Pengaturan Blank Holder Force (BHF) yang tepat terbukti mampu mengendalikan aliran material dan secara efektif mengurangi cacat wrinkling. Dalam implementasi produk nyata, temuan ini dapat diterapkan melalui penggunaan sistem kontrol BHF yang dinamis serta audit berkala pada presisi geometri tooling untuk memastikan seluruh parameter berinteraksi secara optimal. Oleh karena itu, optimasi parameter proses seperti diameter blank, radius die, die clearance, dan BHF merupakan langkah penting untuk menghasilkan produk deep drawing yang berkualitas dan bebas cacat.

Daftar Pustaka

- [1] Bambang Mulyanto1, *. D. (2020). *SIMULATION AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DEFECT IN DEEP DRAWING PROCESS OF CARBON STEEL SPCC 1018 OF WRINKLE*.
- [2] Ghazi Tikamori1, D. I. (2024). *A Comprehensive Investigation of Deep Drawing Processes for a 2-Inch Diameter Drop-pipe Cap: Numerical and Experimental Analysis*.
- [3] Hendrawan, M. A. (2009). ANALISIS KERUSAKAN PADA PROSES MANUFAKTUR PRODUK OTOMOTIF TUTUP SHOCK ABSORBER DENGAN MENGGUNAKAN.
- [4] Karyadi1, S. D. (2024). *The Square cup deep drawing: Technology transfer from experts to increase production in small and medium*.
- [5] M. Habibi1, M. M. (2020). Pengaruh Kecepatan *Punch* Terhadap Kedalaman Penetrasi dan Cacat Hasil *Micro Deep Drawing* dengan Sistem Pneumatik pada *Material*.
- [6] Riona Ihsan Media1, *. R. (2017). *Parametric Study on Combination Tool of Forming Limit Diagram: Case Study on Non-Cylinder Air Vent*.