

TINJAUAN LITERATUR: PENGARUH PROSES *DEEP DRAWING* TERHADAP PERUBAHAN SIFAT MEKANIK MATERIAL BAJA SPCC

Oleh:

Danang Wisnu Wardana¹

Etta Teguh Hermawan²

Wahyu Redi Eka Saputra³

Faisal Hakim⁴

Priyo Utomo Adi Nugroho⁵

Sri Hastuti⁶

Universitas Tidar

Alamat: Jl. Kapten Suparman No. 39, Potrobangsan, Kec. Magelang Utara, Kota Magelang, Jawa Tengah (56116).

Korespondensi Penulis: danangwisnuwardana@gmail.com, ettateguhh@gmail.com,
wahyuredi05@gmail.com, hakimfaisal936@gmail.com, utomop499@gmail.com,
hastutisrimesin@untidar.ac.id.

Abstract. The deep drawing process is a thin metal forming technique used to create concave parts, such as tubes, cups, and cylindrical containers. This study is a literature review designed to analyze the effect of the deep drawing process on changes in the mechanical properties of SPCC steel. The results of the review indicate that this forming process results in non-uniform strain distribution, especially in the punch radius and cup wall areas, which are critical zones due to high plastic deformation. This phenomenon causes material thinning, increased strain hardening, and changes in overall mechanical behavior. In addition, process parameters such as sheet holding force have been shown to play an important role in preventing defects such as wrinkles and cracks during forming. The formability limit of SPCC steel using conventional methods can be increased through a stepwise forming approach that can reduce stress concentrations

PENGARUH PROSES *DEEP DRAWING* TERHADAP PERUBAHAN SIFAT MEKANIK MATERIAL BAJA SPCC

and maintain material stability. Overall, this study confirms that optimization of deep drawing process parameters is essential to obtain better forming quality and minimize the risk of defects in the final product.

Keywords: Deep drawing, SPCC, Plastic deformation, Material thickness, Formability.

Abstrak. Proses *deep drawing* adalah salah satu teknik pembentukan logam tipis yang digunakan untuk membuat bagian dengan bentuk cekung, seperti tabung, cangkir, dan wadah berbentuk silinder. Penelitian ini merupakan studi literatur yang disusun untuk menganalisis pengaruh proses *deep drawing* terhadap perubahan sifat mekanik material baja SPCC. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa proses pembentukan ini menimbulkan distribusi regangan yang tidak seragam, terutama pada area radius punch dan dinding cup yang menjadi zona kritis akibat deformasi plastis yang tinggi. Fenomena tersebut menyebabkan terjadinya penipisan material, peningkatan pengerasan regangan, serta perubahan perilaku mekanik secara keseluruhan. Selain itu, parameter proses seperti gaya penahan lembaran terbukti berperan penting dalam mencegah timbulnya cacat berupa kerutan maupun retakan selama pembentukan. Batas kemampuan formabilitas baja SPCC pada metode konvensional dapat ditingkatkan melalui pendekatan pembentukan bertahap yang mampu mengurangi konsentrasi tegangan dan menjaga kestabilan material. Secara keseluruhan, kajian ini menegaskan bahwa optimasi parameter proses *deep drawing* sangat diperlukan untuk memperoleh kualitas pembentukan yang lebih baik serta meminimalkan risiko cacat pada produk akhir.

Kata Kunci: Deep Drawing, SPCC, Deformasi Plastis, Ketebalan Material, Formabilitas.

LATAR BELAKANG

Proses *deep drawing* adalah salah satu teknik pembentukan logam tipis yang digunakan untuk membuat bagian dengan bentuk cekung, seperti tabung, cangkir, dan wadah berbentuk silinder. Teknik ini sering digunakan di bidang otomotif dan kemasan karena mampu membuat bentuk yang rumit tanpa perlu menyambungkan bagian-bagian logam dengan las, serta menghasilkan permukaan yang rata dan berkualitas tinggi (O. M. Ikumapayi et al., 2022) (Mikell P. Groover, 2010). Salah satu bahan yang sering digunakan dalam proses ini adalah baja SPCC, yaitu baja berkarbon rendah yang diproduksi dengan cara cold-rolled dan mengikuti standar JIS G3141. Baja ini memiliki

sifat lentur yang bagus, ketebalan yang seragam, serta mudah dibentuk, sehingga sering digunakan untuk membuat komponen otomotif, panel peralatan rumah tangga, serta drum dari bahan logam (J. Moh et al., 2020). Selama proses *deep drawing*, material mengalami deformasi plastis yang dapat menyebabkan perubahan sifat mekanik. Peningkatan kekuatan tarik melalui mekanisme *strain hardening*, penurunan keuletan, serta penipisan dinding (*thinning*) merupakan fenomena umum yang terjadi akibat bertambahnya regangan dan densitas dislokasi setelah pembentukan (Nikhare, 2013).

Meskipun banyak penelitian yang membahas *deep drawing*, kebanyakan hanya fokus pada beberapa aspek tertentu seperti masalah cacat pembentukan atau bagaimana regangan terdistribusi. Penelitian yang langsung mengevaluasi perubahan sifat mekanik baja SPCC setelah proses *deep drawing* masih sedikit, terutama mengenai hubungan antara parameter proses dengan perubahan sifat tarik, kekerasan, dan keuletan material. Hal ini dapat dilihat dari penelitian Mercu Buana yang lebih memperhatikan masalah cacat pembentukan dan distribusi regangan dibandingkan dengan sifat mekanik material itu sendiri (Mulyanto et al., 2020) (and M. Institute of Materials, Minerals, 2008).

Karena adanya keterbatasan tersebut, penelitian ini dilaksanakan dalam bentuk studi literatur dengan tujuan untuk mengkaji secara sistematis pengaruh proses *deep drawing* terhadap perubahan sifat mekanik baja SPCC. Metode studi literatur dipilih karena mampu memberikan gambaran komprehensif mengenai fenomena deformasi plastis pada lembaran logam berdasarkan hasil-hasil penelitian sebelumnya (Setiawan et al., 2020). Melalui tahapan pengumpulan data, penelaahan kritis, serta perbandingan berbagai temuan terdahulu, studi ini diharapkan dapat memperdalam pemahaman mengenai pengaruh parameter proses *deep drawing*—seperti gaya tarik, kecepatan penarikan, pelumasan, dan rasio penarikan—terhadap perubahan struktur mikro serta sifat mekanik material (Zhang et al., 2018) (Susanto, 2021). Dengan demikian, kajian ini dapat menjadi dasar dalam upaya optimalisasi parameter proses pembentukan serta peningkatan kualitas produk berbahan baja SPCC yang banyak digunakan dalam industri otomotif dan manufaktur (Kim et al., 2019).

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah tinjauan literatur, yaitu pendekatan penelitian yang melibatkan pengumpulan, pengevaluasian, dan analisis

PENGARUH PROSES *DEEP DRAWING* TERHADAP PERUBAHAN SIFAT MEKANIK MATERIAL BAJA SPCC

berbagai sumber ilmiah yang terkait dengan topik dampak proses deep drawing terhadap perubahan karakteristik mekanik material baja SPCC. Penelitian ini mengikuti langkah-langkah studi literatur seperti yang dijelaskan oleh (Snyder, 2019) (Kitchenham, 2004), yang menjelaskan bahwa tinjauan literatur adalah metode yang terstruktur dengan tahapan mencari sumber, menyaring berdasarkan relevansi, menilai kualitas informasi, serta menggabungkan data untuk membentuk pemahaman teoritis yang lengkap. Dengan cara ini, beberapa penelitian yang membahas perubahan sifat mekanik seperti kekuatan tarik, kekerasan, keuletan, penipisan, dan distribusi regangan akibat proses deep drawing dianalisis secara mendalam (Zhang et al., 2018). Hasil dari sintesis literatur ini digunakan untuk membangun fondasi teori yang kuat tanpa harus melakukan eksperimen langsung, sehingga kajian ini mampu memberikan gambaran yang menyeluruh mengenai pengaruh proses *deep drawing* terhadap perilaku mekanik material SPCC (Snyder, 2019).

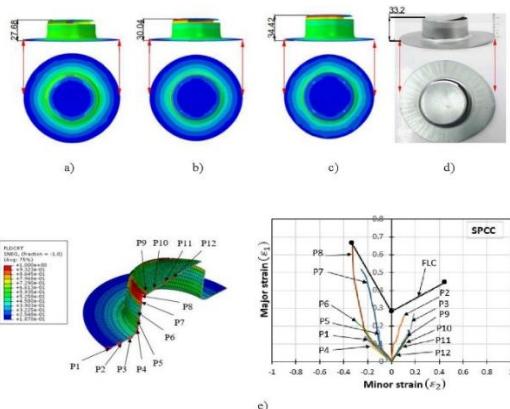
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian Luyen et al. (2022) dan eksperimen (Luyen & T. Van Canh, 2021)

1. Simulasi regangan dengan FEM yang dilakukan oleh Luyen et al. (2022) dan eksperimen (Luyen & T. Van Canh, 2021)

Penelitian oleh Luyen et al. (2022) menunjukkan bahwa pada proses *deep drawing* baja SPCC, distribusi regangan terbesar terjadi pada bagian dinding cup yang berdekatan dengan radius punch. Simulasi FEM memperlihatkan bahwa regangan utama (*major strain*) meningkat signifikan di area tersebut sehingga menjadi zona kritis terjadinya deformasi. Hal ini menunjukkan pola regangan yang konsisten antara hasil simulasi dan eksperimen (Luyen & T. Van Canh, 2021).

Gambar 1. Bentuk cangkir silinder yang disimulasikan oleh (a) hukum pengerasan Voce (b) Swift, (c) Kim-Tuan, dan (d) eksperimen, e) Regangan mayor dan minor dari titik-titik yang berbeda pada cangkir silinder setelah pembentukan (Luyen & T. Van Canh, 2021)



2. Pembahasan regangan dengan FEM yang dilakukan oleh Luyen et al. (2022) dan eksperimen (Luyen & T. Van Canh, 2021)

Tabel 1. Persentase deviasi (atau persentase perbedaan) ketinggian fraktur yang ditentukan oleh eksperimen dan simulasi (Luyen & T. Van Canh, 2021).

Model	Swift	Voce	Kim-Tuan
Error (%)	9.52	16.63	3.67

Studi ini memverifikasi model numerik yang digunakan dengan merujuk pada temuan dari penelitian yang dilakukan oleh (Luyen & T. Van Canh, 2021). Dalam penelitian tersebut, verifikasi model Elemen Hingga (FE) untuk proses tarikan dalam (*deep drawing*) cangkir silinder dilakukan melalui perbandingan ketinggian fraktur hasil simulasi dan eksperimen. Mereka mengadopsi tiga hukum pengerasan yang berbeda yaitu *Voce*, *Swift*, dan *Kim-Tuan* sebagai input untuk menentukan Kurva Batas Pembentukan (FLC) dalam simulasi. Parameter proses yang digunakan meliputi gaya penahan lembar sebesar 10 kN radius sudut *punch* 4 mm dan rasio penarikan 2,25 (didefinisikan sebagai perbandingan diameter *blank* dan diameter *punch*) (Luyen & T. Van Canh, 2021).

Hasil penelitian (Luyen & T. Van Canh, 2021) menunjukkan bahwa fraktur dalam simulasi terjadi ketika kriteria FLC mencapai 1,0. Lokasi kegagalan kritis diamati terjadi pada lokasi kontak antara cangkir silinder dan sudut *punch*, di mana regangan yang dihasilkan adalah yang tertinggi, menyebabkan penipisan terbesar pada lembaran baja (dapat dilihat pada Gambar 3.1(e) dalam studi mereka). Bentuk

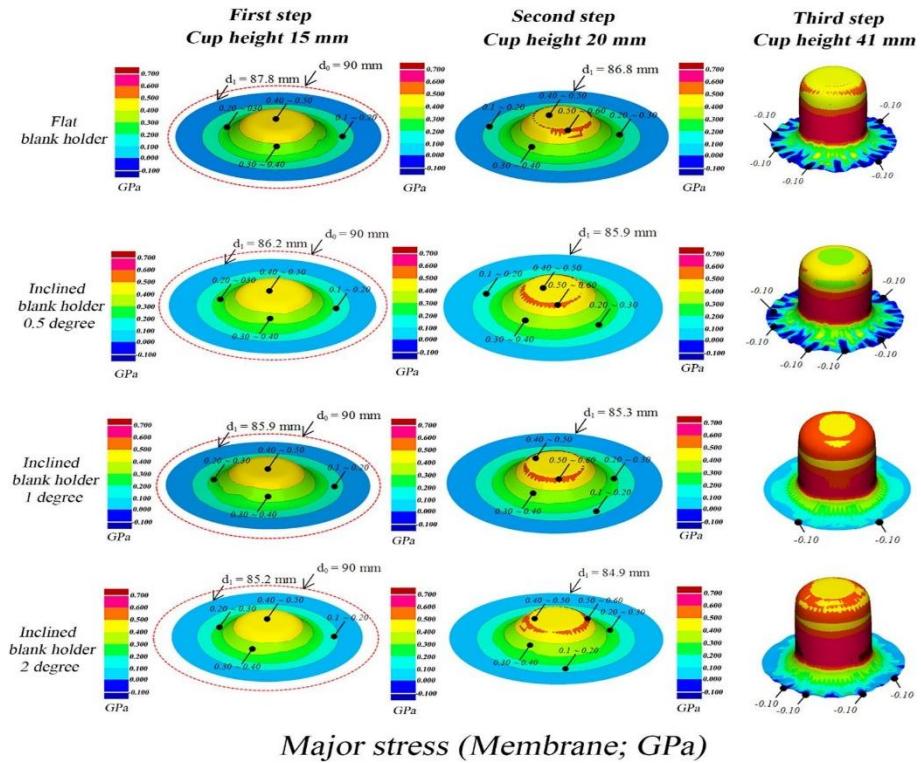
PENGARUH PROSES *DEEP DRAWING* TERHADAP PERUBAHAN SIFAT MEKANIK MATERIAL BAJA SPCC

terdeformasi cangkir silinder akibat simulasi dan eksperimen juga dipresentasikan untuk perbandingan (Gambar 3,1(a-d)). Persentase deviasi ketinggian fraktur antara kedua metode tersebut, yang diukur menggunakan perangkat lunak AutoCAD pada hasil simulasi, dirangkum dalam Tabel 3.1 (Luyen & T. Van Canh, 2021) membuktikan akurasi model FE yang digunakan.

Analisis perubahan distribusi regangan dan tegangan menurut Klaynil et al., 2025

Menurut (Klaynil et al., 2025), dalam proses deep drawing, baja SPCC mengalami perubahan distribusi regangan dan tegangan yang signifikan, terutama pada area sudut (*corner radius*) dan *flange*. Deformasi selama *deep drawing* sangat dipengaruhi oleh kondisi *blank holder* dan tahapan pembentukan. Hal ini terlihat dari analisis tegangan membran yang menunjukkan peningkatan tegangan tarik dari 0.4–0.5 GPa pada langkah pertama dan meningkat hingga 0.5–0.6 GPa pada langkah kedua, khususnya di daerah tikungan cangkir. Ketidakstabilan material mulai muncul pada langkah ketiga ketika terjadi tegangan tekan sebesar –0.1 GPa, yang menyebabkan terjadinya kerutan (*wrinkling*). Kondisi ini menunjukkan bahwa SPCC mengalami perubahan sifat mekanik akibat interaksi antara gaya pembentuk, aliran material, dan tegangan yang timbul sepanjang proses.(Klaynil, Janmanee, and Lawanwong 2025).

Gambar 2. distribusi tegangan tarik dan tekan pada material (Klaynil et al., 2025)



1. Hasil perubahan distribusi regangan dan tegangan menurut Klaynil et al., 2025

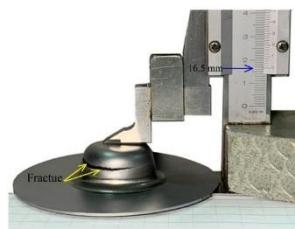
Material SPCC memiliki batas *formability* tertentu yang dapat diamati melalui fenomena retakan pada bagian keliling cup. Dalam jurnal dijelaskan bahwa ketika LDR dinaikkan menjadi 3.0, terjadi retakan besar pada bagian circumference cup akibat regangan yang melebihi kemampuan *formability* material. Hal ini juga diperkuat oleh hasil simulasi FE menggunakan *Forming Limit Diagram* (FLD) yang menunjukkan bahwa area kritis pada keliling cup memasuki zona necking dan fracture. Dengan demikian, terlihat bahwa karakteristik mekanik baja SPCC sangat menentukan maksimal kedalaman pembentukan tanpa cacat (Klaynil et al., 2025).

Gambar 3. Deformasi cangkir (cup) pada deep drawing konvensional (Klaynil et al., 2025)

PENGARUH PROSES *DEEP DRAWING* TERHADAP PERUBAHAN SIFAT MEKANIK MATERIAL BAJA SPCC

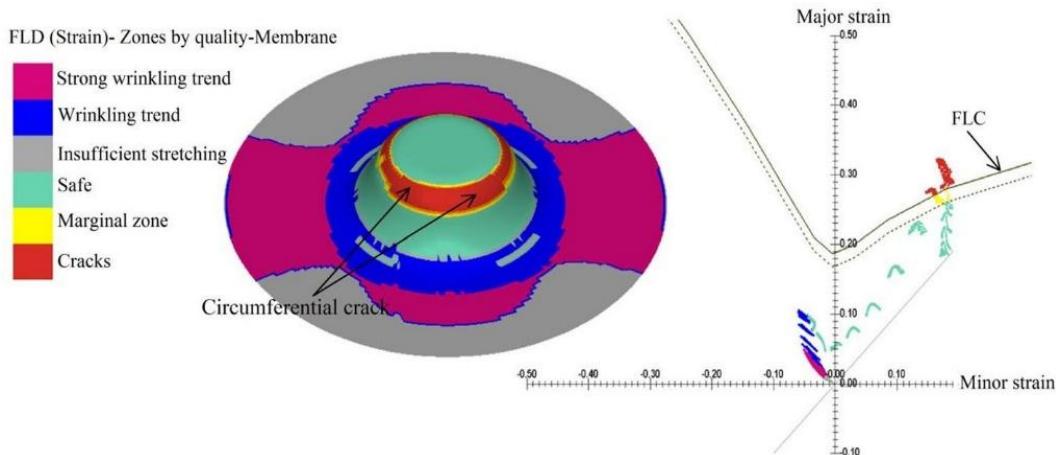


(a) Fracture on a circumferential of the cup



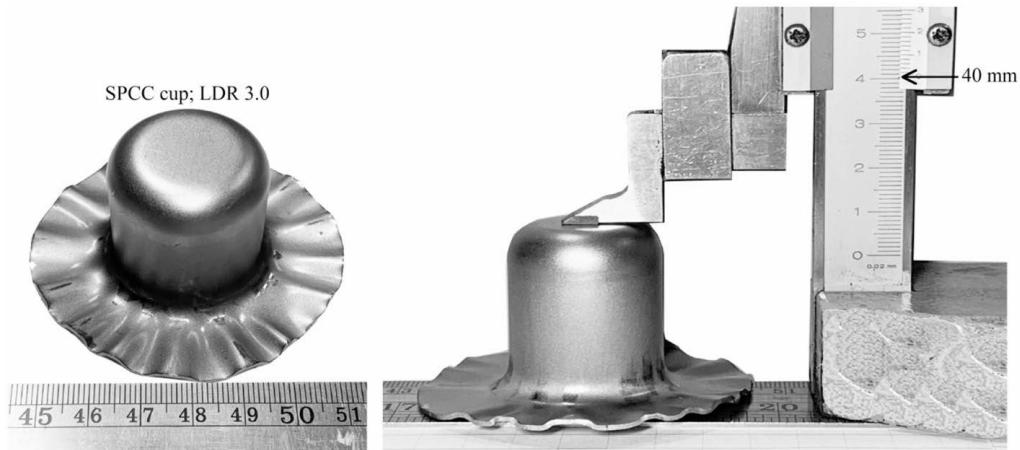
(b) Cup height of SPCC LDR 3.0

Gambar 4. FLC of SPCC material (Klaynil et al., 2025)

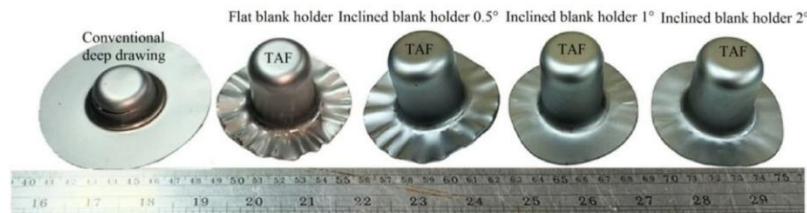


Teknik SAF terbukti meningkatkan *formability* SPCC dengan mereduksi regangan berlebih pada dinding cup. Pada jurnal dijelaskan bahwa SAF memungkinkan pembentukan bertahap yang mengurangi tegangan tarik ekstrem, sehingga LDR dapat ditingkatkan dari 2.2 menjadi 3.0 atau meningkat 36.4%. Selain itu, penggunaan blank holder miring sebesar 1° terbukti mengurangi area tegangan tekan yang menyebabkan kerutan, sehingga flange menjadi lebih rata. Ini menunjukkan bahwa metode pembentukan berurutan dapat mengurangi risiko perubahan sifat mekanik yang ekstrem dan menjaga ketebalan cup tetap stabil (Klaynil et al., 2025).

Gambar 5. Deep drawing menggunakan SAF menggunakan penahan lembaran datar miring (inclined blank flat holder) dengan LDR 3.0 (Klaynil et al., 2025)

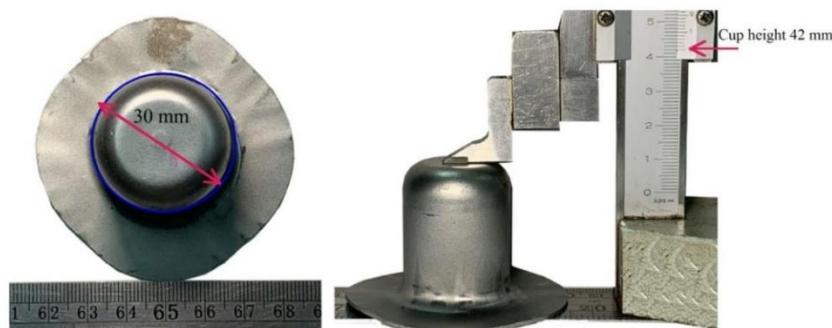


Gambar 6. Hasil yang diperoleh secara eksperimental dari deep drawing konvensional dan SAF dengan berbagai variasi penahan lembaran miring pada LDR 3.0 (Klaynil et al., 2025)



(a) The cup LDR 3.0 obtained from conventional deep drawing and

TAF with various inclined blank holder and constant BHF 2.5 kN

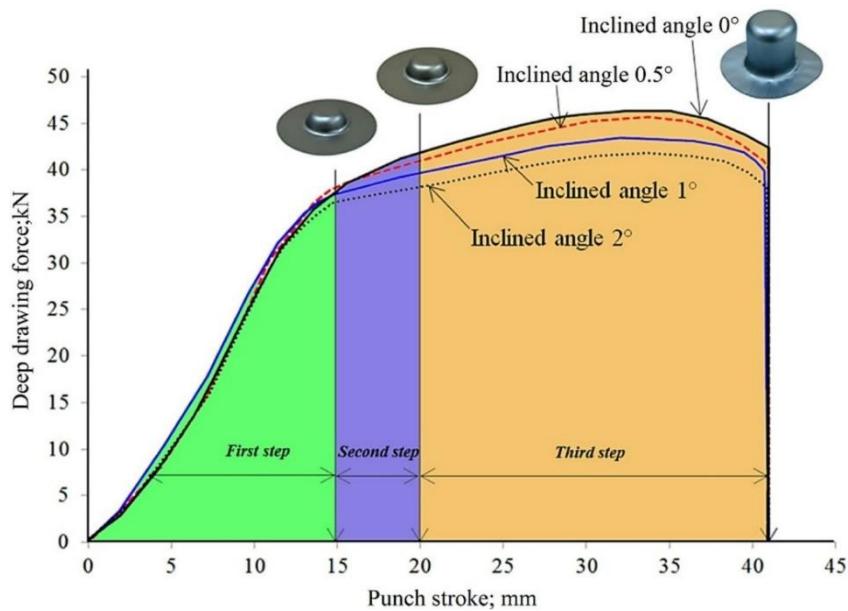


(b) The cup obtained from TAF with inclined blank holder 1° of LDR 3.0

Gambar 7. iagram perjalanan gaya (*Force-Travel Diagram*) dari SAF dengan berbagai variasi sudut kemiringan penahan lembaran diperoleh dari hasil

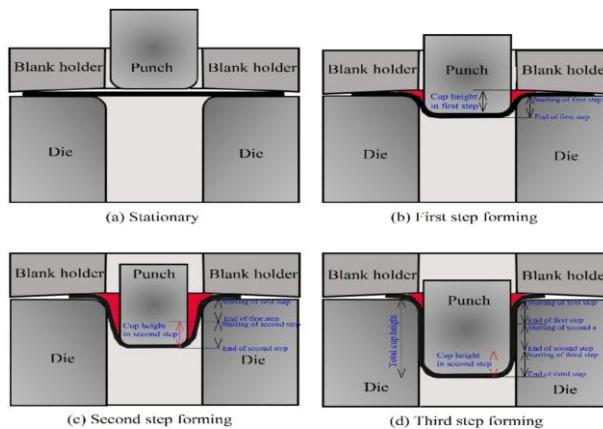
PENGARUH PROSES *DEEP DRAWING* TERHADAP PERUBAHAN SIFAT MEKANIK MATERIAL BAJA SPCC

eksperimental (Klaynil et al., 2025)

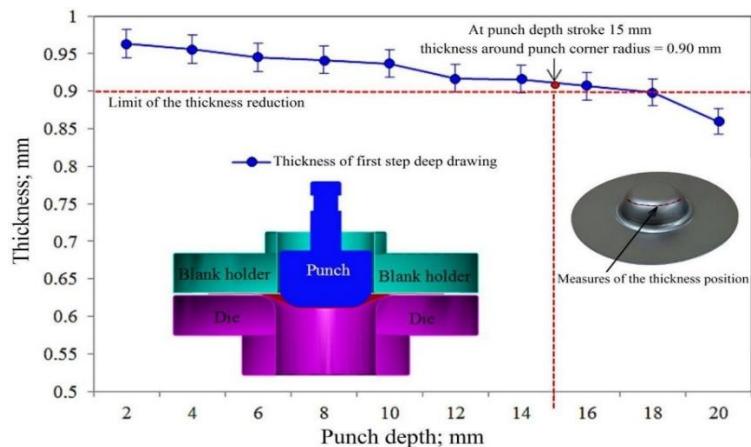


Perubahan sifat mekanik material SPCC juga tercermin dari variasi ketebalan pada area *critical radius*. Ketebalan material menurun seiring dengan bertambahnya kedalaman punch. Pada langkah pertama, ketebalan turun hingga sekitar 0.90 mm pada kedalaman 16 mm, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.9. Pengurangan ketebalan ini menunjukkan terjadinya strain hardening serta perubahan distribusi tegangan internal, yang merupakan indikator utama perubahan sifat mekanik material selama proses pembentukan dalam (Klaynil et al., 2025).

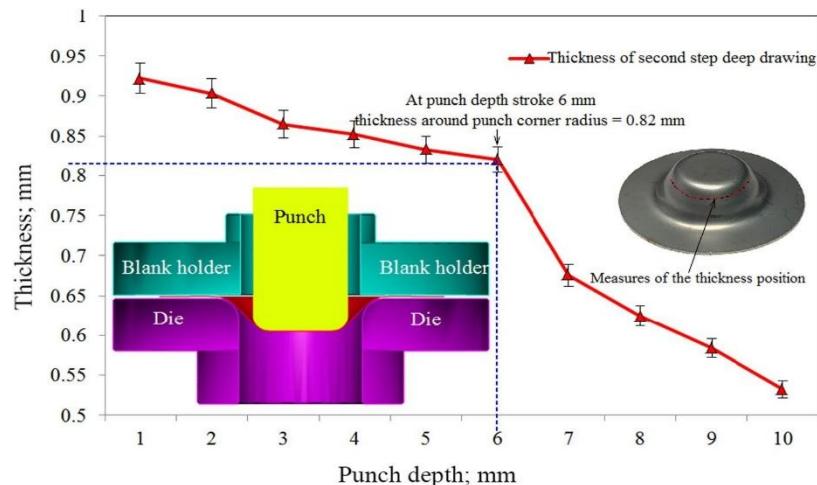
Gambar 8. Definisi pengukuran tinggi cangkir untuk berbagai jenis pembentukan bertahap (*step forming*) (Klaynil et al., 2025)



Gambar 9. Ketebalan cangkir pada langkah pertama (Klaynil et al., 2025)



Gambar 10. Ketebalan cangkir pada langkah kedua (Klaynil et al., 2025)



Hasil ini memperlihatkan bahwa proses deep drawing tidak hanya menyebabkan perubahan ketebalan, tegangan, dan kondisi permukaan, tetapi juga berpengaruh langsung terhadap perilaku mekanik SPCC termasuk *anisotropi*, *strain hardening*, serta batas formabilitasnya (Klaynil et al., 2025)

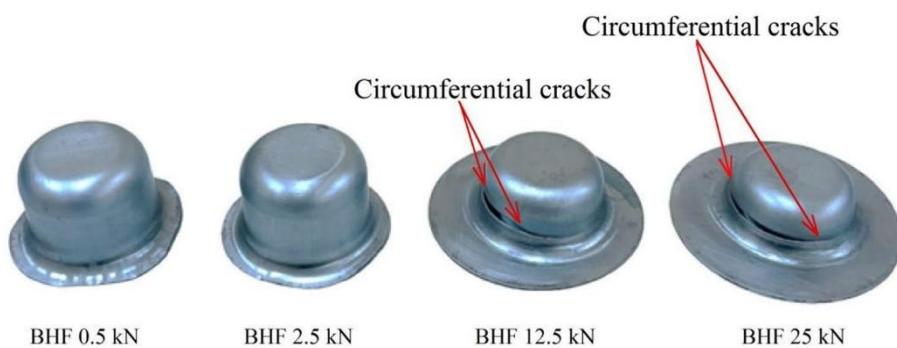
2. Pembahasan perubahan distribusi regangan dan tegangan menurut Klaynil et al., 2025

Kualitas hasil *deep drawing* pada material SPCC sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya gaya *blank holder* (*blank holder force/BHF*). (Klaynil et al., 2025) menunjukkan bahwa variasi gaya *blank holder* dapat memperbaiki atau justru memperburuk fenomena kerutan dan retak. Saat LDR = 2.2, perbedaan geometri cup sangat bergantung pada nilai gaya penahan, sebagaimana tampak pada gambar 3.3,

PENGARUH PROSES *DEEP DRAWING* TERHADAP PERUBAHAN SIFAT MEKANIK MATERIAL BAJA SPCC

yang memperlihatkan bentuk cangkir yang berbeda untuk setiap variasi gaya penahan. Penelitian menemukan bahwa BHF 2.5 kN merupakan nilai optimal untuk mencegah retakan tanpa menimbulkan kerutan yang berlebihan. Hal ini menunjukkan korelasi langsung antara tegangan permukaan, stabilitas flensa, dan kemampuan material SPCC dalam mempertahankan bentuknya selama proses pembentukan (Klaynil et al., 2025).

Gambar 11. SPCC dibentuk melalui *deep drawing* konvensional pada LDR 2.2 dengan berbagai variasi gaya penahan lembaran (blank holder force) (Klaynil et al., 2025).



KESIMPULAN

Hasil dari tinjauan literatur menunjukkan bahwa proses deep drawing memberikan dampak nyata terhadap perubahan sifat mekanik baja SPCC, terutama karena adanya distribusi regangan yang tidak merata pada daerah kritis seperti radius punch dan dinding cup, yang tercatat mengalami regangan paling besar (Luyen & Canh, 2021). Daerah tersebut menjadi titik utama terjadinya penipisan dan potensi retak akibat peningkatan deformasi plastis. Pengaruh yang signifikan juga berasal dari variasi besaran gaya penahan lembaran (Blank Holder Force/BHF), di mana ketidaktepatan nilai BHF bisa menyebabkan timbulnya kerutan atau retakan, sedangkan nilai 2.5 kN terbukti paling efektif dalam menghasilkan bentuk yang stabil pada LDR 2.2 (Klaynil, Janmanee, & Lawanwong, 2025). Ketika LDR ditingkatkan hingga mencapai 3.0, material mengalami kegagalan pada bagian tepi cup, yang menunjukkan keterbatasan kemampuan formabilitas SPCC dalam metode konvensional. Namun, metode Sequential Annealing Forming (SAF) terbukti mampu meningkatkan formabilitas hingga 36.4% dengan menurunkan konsentrasi tegangan dan menstabilkan flange sehingga pembentukan yang

lebih dalam dapat dicapai tanpa cacat (Klaynil et al., 2025). Perubahan ketebalan yang terjadi selama proses juga menunjukkan adanya fenomena strain hardening dan perubahan sifat mekanik material. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa deep drawing memengaruhi ketebalan, tegangan, formabilitas, serta perilaku mekanik baja SPCC, sehingga pengaturan parameter proses secara tepat sangat penting untuk mencegah munculnya cacat serta mendapatkan hasil pembentukan yang optimal.

DAFTAR REFERENSI

- J. Moh, K. I., Sawah, S., Jakarta, D. K. I., D. Sheet, A., & Forming, M. (2020). ‘*DENGAN PROSES DEEP DRAWING DALAM PEMBUATAN*’.
- Kim, S., J., & Lee. (2019). ‘*Formability and Microstructure Evolution of Low Carbon Steel Sheet in Deep drawing Processes. Materials Science Forum.*’
- Kitchenham, B. (2004). ‘*Procedures for Performing Systematic Literature Reviews.*’
- Klaynil, C., Janmanee, P., & Lawanwong, K. (2025). *Improvement of limiting drawing ratio of a SPCC steel using sequential action forming with inclined blank holder.* 1, 1–24.
- Luyen, T., & T. Van Canh. (2021). ‘*A simulation and experimental study on the deep drawing process of SPCC sheet using the graphical method.*’
- M. Institute of Materials, Minerals. (2008). ‘*Hydroforming for Advanced Manufacturing.*’
- Mikell P. Groover. (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems.*
- Mulyanto, B., Khaerudini, D. S., Program, M. E., Buana, U. M., & Region, P. S. (2020). *SIMULATION AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF WRINKLE DEFECT IN DEEP DRAWING PROCESS OF CARBON STEEL SPCC.* 24(3), 197–206.
- Nikhare, C. (2013). *Pressurization System in Low Pressure Tube Hydroforming.* 2013(July), 71–78.
- O. M. Ikumapayi, Afolalu, S. A., Kayode, J. F., Kazeem, R. A., & Akande, S. (2022). ‘*Materials Today : Proceedings A concise overview of deep drawing in the metal forming operation.*’ *Mater Today Proc*, No. XXXX, 2022, Doi: 10.1016/j.matpr.2022.04.221., Volume 62, Pages 3233-3238.

PENGARUH PROSES *DEEP DRAWING* TERHADAP PERUBAHAN SIFAT MEKANIK MATERIAL BAJA SPCC

Setiawan, R., D., & Putra. (2020). '*Analisis Deep drawing pada Material Lembaran Logam.*'

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104(March), 333–339.
<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>

Susanto, A. (2021). '*Studi Pengaruh Variasi Parameter Deep drawing terhadap Kekerasan Baja SPCC.*'

Zhang, X., Y., L., H., & Chen. (2018). '*Influence of Drawing Parameters on Mechanical Properties of SPCC Steel Sheet*'.