

TINJAUAN LITERATUR : PENGARUH PARAMETER PROSES DEEP DRAWING TERHADAP KUALITAS PRODUK PADA MATERIAL ALUMINIUM

Afdan Zuhdan Wardana¹, Muchammad Fanan Adzanie², Muhammad Akmal Hafidz Azzuhruf³, Muchammad Refi Falih⁴, Khafid Ilham Osa Pradana⁵, Sri Hastuti^{6*}

^{1,2,3,4,5,6}Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

*e-mail corresponding: hafidzazzuhruf144@gmail.com / hastutisrimesin@untidar.ac.id

Abstrak: Proses deep drawing adalah metode utama dalam manufaktur dalam menghasilkan komponen berrongga dari lembaran logam. Kualitas akhir dari produk alumunium sangat dipengaruhi oleh parameter proses yang ada, karena sifat defotmai unik dari material ini. Tinjauan pustaka ini bertujuan untuk menggabungkan temuan utama mengenai hubungan antara parameter proses termasuk gaya penahan blank (Blank Holder Force, BHF), pelumasan, dan kecepatan penarikan dengan kriteria kualitas produk, seperti rasio penarikan maksimum dan pengurangan cacat (kerutan atau robekan), metode yang diterapkan adalah pendekatan konseptual yang berdasar pada analisis artikel ilmiah terkait perilaku deformasi aluminium dalam proses deep drawing. Setelah mengkaji literatur, disimpulkan bahwa BHF adalah faktor sebagian besar penentu. BHF yang terlalu rendah membawa pada kerutan radial akibat kompresi yang tidak terkendali, sementara BHF yang berlebihan meningkatkan gesekan secara signifikan, yang berujung pada sobekan dan membatasi LDR. Pelumasan yang memadai sangat penting untuk menurunkan koefisien gesek, yang secara langsung mempengaruhi keseragaman distribusi ketebalan dinding dan membantu mencegah galling. Di sisi lain, peningkatan kecepatan penarikan dapat mengurangi kemampuan material untuk mengalami perpanjangan seragam disebabkan oleh sensitivitass alumunium terhadap laju regangan tinggi, meningkatkan risiko necking dan kegagalan. Dengan demikian, untuk mendapatkan kualitas terbaik dari produk alumunium, diperlukan optimasi seimbang terhadap BHF dalam rentang optimal dan pemilihan pelumas yang tepat

Kata Kunci: Deep Drawing, Aluminium, Gaya Penahan Blank (BHF), Pelumasan, Kualitas Produk.

Abstract: Deep drawing is a key manufacturing method for producing hollow components from sheet metal. The final quality of aluminum products is strongly influenced by the process parameters, due to the unique deformation properties of this material. This literature review aims to summarize the main findings regarding the relationship between process parameters including blank holder force (BHF), lubrication, and drawing speed

Article History

Received: Desember 2025
Reviewed: Desember 2025
Published: Desember 2025

Plagiarism Checker No 798
Prefix DOI : Prefix DOI :
10.8734/Kohesi.v1i2.365
Copyright : Author
Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



with product quality criteria, such as maximum draw ratio and defect reduction (wrinkles or tears). The method applied is a conceptual analysis approach based on scientific articles related to aluminum confinement behavior in deep drawing. After reviewing the literature, it is concluded that BHF is the most determining factor. Too low a BHF leads to radial wrinkles due to uncontrolled compression, while excessive BHF significantly increases the brittleness, which ends in tears and limits the LDR. Adequate lubrication is essential to lower the coefficient of friction, which directly affects the uniformity of wall thickness distribution and helps prevent damage. On the other hand, increasing the drawing speed can reduce the material's ability to undergo uniform elongation due to aluminum's sensitivity to high strain rates, increasing the risk of necking and failure. Therefore, to achieve the best quality aluminum products, balanced optimization of the BHF within the optimal range and the selection of the right lubricant are required.

Keywords: Deep Drawing, Aluminum, Blank Holding Force (BHF), Lubrication, Product Quality

PENDAHULUAN

Material aluminium sering dimanfaatkan dalam pembuatan part pada manufaktur karena karakteristik materialnya yang ringan, fleksibel dan tahan terhadap pengaruh korosi. Selama tahap deep drawing, lembaran aluminium ditekan masuk ke dalam cetakan menggunakan sebuah punch, yang menghasilkan material dengan bentuk silinder atau persegi. Dalam tahap deep drawing ini, aluminium menunjukkan respons yang peka terhadap variasi parameter dalam proses pembentukan.

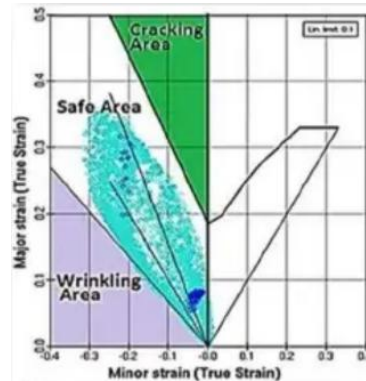
Gaya Penahan *Blank* (*Blank Holder Force/BHF*) berperan penting dalam mengontrol cacat utama dalam proses *deep drawing* aluminium, yaitu *wrinkling* (kerutan) dan *tearing/cracking* (sobekan), dengan mengatur aliran material di area *flange* melalui tekanan radial dan kompresi. BHF rendah (misalnya ≤ 1.3 MPa) menyebabkan tegangan kompresi berlebih yang memicu *wrinkling* parah di *flange*, sementara BHF tinggi (≥ 18 MPa atau > 8 MPa) menghambat aliran material sehingga meningkatkan tegangan tarik dan menyebabkan penipisan berlebih (*thinning*) hingga fraktur. Pengaturan BHF variabel—rendah di awal proses untuk memfasilitasi aliran, lalu meningkat di tengah—meningkatkan *Limiting Drawing Ratio* (LDR) hingga 2.14 dan mencegah *B-rupture* pada dinding cup. (M.R. Foudeh, S. Daneshmand, H.I Demirci, 2013)

A. *Wrinkling*

Wrinkling (kerutan) merupakan salah satu jenis cacat yang sering muncul dalam proses *deep drawing*. *Wrinkling* diakibatkan oleh adanya gelombang atau lipatan pada lembaran logam karena tidak stabilan tekanan yang berada di bagian *flange*. Cacat semacam ini umumnya muncul ketika gaya menahan *blank* (Blank Holder Force) tidak cukup kuat, sehingga material terdorong secara berlebihan dan tidak terarah ke samping. Penelitian oleh Jirasak Srirat et al. mengungkapkan bahwa pengaruh celah (gap) antara punch dan die memiliki dampak besar dalam mencegah *wrinkling*. Dalam penelitian tersebut, celah dijaga pada ukuran yang

berbeda di antara awal dan akhir gerakan punch, dengan rentang antara 150% sampai dengan 180% dari ketebalan awal material.

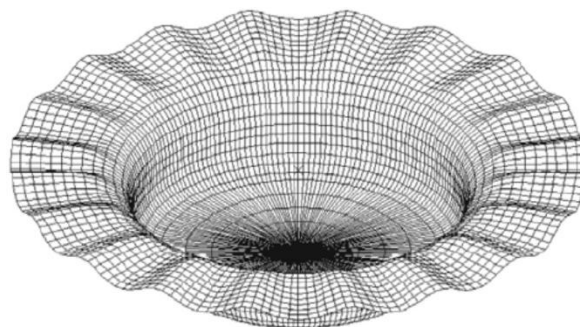
Di tahap awal gerakan punch, celah dijaga tetap sebesar 180% dari ketebalan lembaran blank, sedangkan pada tahap akhir gerakan punch, ukuran celah diturunkan menjadi 160%, yang memberikan kontrol lebih baik terhadap aliran material dan menurunkan kemungkinan terjadinya kerutan.



Gambar 1.0 Forming Limit Diagram (Schey & Lange, 1967)

Sumber: <https://id.scribd.com/document/453907382/Kecacatan-Pada-Proses-Deep-Drawing>

Selain itu, batasan regangan pembentukan (*major and minor strain ratio*) pada daerah *flange* juga menjadi acuan penting dalam mencegah cacat. Berdasarkan *Forming Limit Diagram* (FLD), daerah *wrinkling* terletak pada zona regangan minor yang bernilai negatif dan regangan mayor yang rendah, sedangkan *cracking* terjadi pada zona regangan mayor yang melebihi batas *forming limit*. Batasan regangan ini selanjutnya digunakan sebagai syarat untuk menentukan *blank holder gap* yang aman agar proses pembentukan dapat berlangsung tanpa terjadinya kerutan maupun retakan. Regangan pembentukan mayor pada *flange* umumnya diartikan sebagai regangan radial yang terjadi selama material mengalami tarikan menuju arah dinding produk.



Gambar 2.0 Simulasi *Wrinkling* pada Material

Sumber: https://www.researchgate.net/figure/Wrinkling-in-sheet-metal-deep-drawing-5_fig1_235699500

B. *Tearing atau cracking*

Tearing atau *cracking* adalah cacat dalam proses *deep drawing* yang ditandai dengan terjadinya robekan pada lembaran logam akibat regangan tarik yang melebihi batas kemampuan material. Cacat ini umumnya muncul ketika material mengalami *thinning* (penipisan) berlebihan pada daerah tertentu sehingga

material tidak mampu lagi mempertahankan integritasnya. *Tearing/Cracking* terjadi ketika BHF tidak merata atau terlalu besar, sehingga menyebabkan deformasi yang tidak seragam dan penipisan maksimum (repository.polman-bandung), terutama pada material aluminium yang bersifat anisotropik. Kondisi tersebut membuat distribusi regangan menjadi tidak stabil, sehingga bagian yang paling tipis atau paling teregang akan mengalami konsentrasi tegangan dan akhirnya robek. Pada *Forming Limit Diagram* (FLD), *tearing* atau *cracking* berada pada zona regangan mayor yang melampaui kurva batas pembentukan, menunjukkan bahwa material telah melewati batas regangan maksimum yang dapat diterima sebelum mengalami kegagalan.



Gambar 3.0 Contoh *Tearing* Atau *Cracking* pada Material

Sumber: https://www.researchgate.net/figure/Tearing-takes-place-when-the-blank-holder-force-is-too-great-In-this-case_fig8_258220315

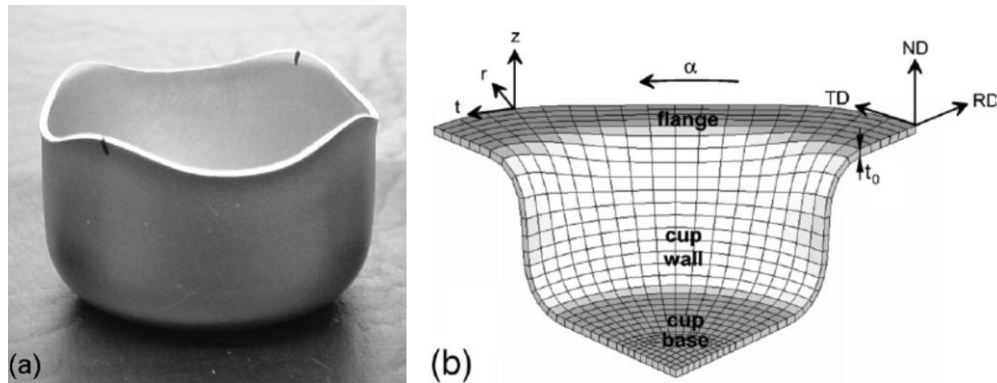
C. Earing dan Fraktur

Earing merupakan sebuah cacat geometris yang muncul pada saat proses *deep drawing*, ditandai dengan terbentuknya tonjolan atau gelombang pada tepi hasil pembentukan yang menyerupai “telinga”. Cacat ini terutama disebabkan oleh anisotropi material, yaitu perbedaan kemampuan alir plastis pada berbagai arah orientasi lembaran, sehingga material mengalir lebih banyak pada arah tertentu dan menghasilkan variasi ketinggian tepi. Sementara itu, fraktur atau keretakan yaitu sebuah kegagalan material yang terjadi ketika regangan tarik yang dialami logam melebihi batas kemampuan deformasinya.

Fraktur ini umumnya dipicu oleh penipisan berlebih, gaya penahan *blank* (BHF) yang terlampaui besar, pelumasan yang tidak memadai akan menyebabkan gesekan tinggi, kecepatan penarikan yang berlebihan, atau radius *die* dan *punch* yang terlalu kecil sehingga memicu konsentrasi tegangan. Kedua jenis cacat ini sangat memengaruhi kualitas produk akhir, sehingga pengendalian aliran material, optimasi parameter proses, serta pemilihan material yang sesuai menjadi langkah penting untuk meminimalkan terjadinya *earring* maupun fraktur dalam proses *deep drawing*.

Pengaruh parameter proses *deep drawing* pada material aluminium sangat signifikan terhadap cacat produk seperti *earring* (penonjolan tidak merata di tepi *cup*) dan fraktur (sobekan dinding), yang sering dipicu oleh distribusi *strain* tidak seragam serta *blank holder force* (BHF) yang tidak optimal (Demirci, 2008; Leelaseat, 2024). *Earing* muncul akibat anisotropi material aluminium, di mana BHF rendah menyebabkan aliran *flange* berlebih, sementara fraktur terjadi pada

BHF tinggi yang menimbulkan *thinning* ekstrem ($>20\%$) pada dinding cup AA5754 (Leelaseat, 2024). Analisis *finite element* menegaskan bahwa radius punch kecil memperburuk fraktur pada Aluminium alloy dengan meningkatkan tegangan lokal, sehingga rekomendasi radius optimal diperlukan sebesar 4-6 mm untuk meminimalisir cacat tersebut (Bahanan et al., 2023). Rentang optimal 1.3-8 MPa mencegah *earing* dan *wrinkling* pada *deep drawing* persegi, dengan BHF sekitar sepertiga dari gaya *drawing* ideal. (Halil.İbrahim Demirci, Cemal Esner, Mustafa Yasar , 2008)



Gambar 4.0 (a) Penampakan Earing Hasil deep drawing, (b) Hasil Simulasi Earing pada FEM

Sumber: https://www.researchgate.net/figure/a-Typical-appearance-of-a-deep-drawn-cup-with-ears-under-0-and-90_fig1_232401498

Optimasi BHF melalui simulasi FEM dan pengujian menunjukkan bahwa BHF adaptif (*variable*) lebih efektif daripada konstan, mengurangi cacat dengan menjaga *drawing force* di bawah batas kritis (misalnya <17.000 N) dan memastikan distribusi ketebalan seragam. Pada aluminium, BHF yang tepat juga meminimalkan *springback* dan meningkatkan kedalaman cup tanpa cacat permukaan. Pendekatan ini sangat krusial dalam pengaplikasian yang membutuhkan presisi tinggi seperti untuk komponen otomotif. (Shoichiro Yoshihara, Ken-ichi Manabe, Hisashi Nishimura, 2005)

Pelumas berperan krusial dalam mengurangi koefisien gesekan (μ) selama *deep drawing* aluminium AA1100, di mana kekasaran permukaan tinggi ($R_a > 1.6 \mu\text{m}$) tanpa pelumas meningkatkan gesekan hingga 0.25, memicu *earing* dan fraktur prematur (Folle, Lima, & Silva, 2019). Kemajuan terkini menunjukkan bahwa pelumas berbasis nano-minyak mengurangi μ hingga 30% pada aluminium alloy, sehingga meningkatkan *limiting drawing ratio* (LDR) dan kualitas permukaan produk (Gao, 2024). Kombinasi pelumasan dengan *radius punch* tepat (seperti pada AA1050/AA1100) mencegah lokal *thinning* yang berujung fraktur (Bouchaala et al., 2021).

Kecepatan penarikan (*punch speed*) tinggi (>30 mm/s) pada aluminium AA1100 memicu *earing* dan *wrinkling* karena ada peningkatan energi kinetik yang memperbesar efektif BHF, menyebabkan cacat sobek di sudut die (Manabe et al., 2021). Variasi kecepatan *punch* rendah (10-20 mm/s) dikombinasikan BHF variabel menghasilkan kedalaman cup optimal tanpa fraktur, sementara kecepatan tinggi meningkatkan laju regangan dan gesekan tergantung kecepatan, yang memperburuk *earing* pada proses mikro *deep drawing*. Optimasi kecepatan ini, bersama pelumasan, direkomendasikan untuk aplikasi industri aluminium agar menghindari cacat permukaan.



METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah tinjauan literatur sistematis yang berfokus pada analisis komparatif berbagai penelitian terkait pengaruh parameter proses deep drawing terhadap kualitas pembentukan material aluminium. Proses pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran artikel ilmiah dari jurnal bereputasi seperti *Journal of Materials Processing Technology*, *Metals*, *Lubricants*, serta repositori ilmiah seperti ScienceDirect, Springer, dan database institusi. Kriteria seleksi literatur mencakup:

- a) Penelitian yang secara spesifik membahas parameter proses seperti Blank Holder Force (BHF), pelumasan, kecepatan penarikan (punch speed), serta radius punch/die.
- b) Penelitian yang melibatkan material aluminium dalam berbagai seri, termasuk AA1100, AA1050, AA5754, dan paduan aluminium lain yang umum digunakan dalam aplikasi industri.
- c) Penelitian yang menyertakan pembahasan mengenai cacat pembentukan seperti wrinkling, tearing, earing, dan fraktur.

Literatur yang terpilih kemudian dianalisis menggunakan pendekatan konseptual yang melibatkan perbandingan metode, parameter proses, fenomena deformasi, serta hasil percobaan maupun simulasi elemen hingga (FEM). Data dari berbagai sumber disintesis untuk mengidentifikasi pola hubungan antara parameter proses dan kualitas produk deep drawing, termasuk dampaknya terhadap distribusi ketebalan, Limiting Drawing Ratio (LDR), dan kecenderungan cacat. Metode ini memungkinkan penyusunan kesimpulan yang komprehensif mengenai parameter kritis dan rentang operasi optimal dalam proses deep drawing material aluminium.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis literatur sistematis dari jurnal yang telah kami review menunjukkan pola konsisten pengaruh parameter proses deep drawing terhadap kualitas produk aluminium. BHF optimal (1.3-8 MPa) mencegah earing dan fraktur pada AA5754 dengan mengurangi thinning hingga <20%, sementara BHF rendah memicu aliran flange berlebih yang menghasilkan earing anisotropik (Demirci, 2008; Leelaseat, 2024). Pelumasan efektif menurunkan koefisien gesekan dari 0.25 menjadi <0.18 pada AA1100, meningkatkan LDR hingga 2.14 dan meminimalkan fraktur prematur akibat galling (Folle, Lima, & Silva, 2019; Gao, 2024). Kecepatan penarikan rendah (10-20 mm/s) menghasilkan distribusi ketebalan seragam tanpa earing, sedangkan >30 mm/s memperburuk fraktur di sudut die karena laju regangan tinggi (Manabe et al., 2021).

1. Pengaruh Blank Holder Force (BHF) terhadap aliran material dan cacat pembentukan sangat signifikan dalam proses deep drawing aluminium. BHF menjadi faktor paling krusial dalam mencegah cacat utama seperti wrinkling dan tearing. BHF rendah menyebabkan kompresi berlebih di flange dan memicu wrinkling akibat aliran material yang tidak terkendali, sedangkan BHF tinggi menghambat aliran material ke dinding cup sehingga menghasilkan thinning ekstrem yang berujung tearing atau fraktur (Demirci, 2008; Leelaseat, 2024). Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan BHF variabel, dengan nilai rendah di awal dan meningkat secara bertahap, dapat meningkatkan Limiting Drawing Ratio (LDR) dan memperbaiki stabilitas deformasi material (Manabe et al., 2021).

2. Wrinkling terjadi akibat ketidakstabilan kompresi pada flange yang menyebabkan penumpukan material. Kondisi ini diperparah oleh BHF rendah atau ketidaktepatan pengaturan gap punch-die yang meningkatkan risiko gelombang radial. Studi literatur mengindikasikan bahwa pengendalian gap antara 150-180% dari ketebalan material awal memberikan kontrol aliran material yang optimal sehingga menekan potensi wrinkling (Srirat et al. dalam). Forming Limit Diagram (FLD) menegaskan wrinkling muncul pada zona regangan minor negatif, menandakan kompresi flange yang tak terkendali (Schey & Lange, 1967). Pencegahan wrinkling efektif dilakukan dengan optimasi BHF, pelumasan, dan pengaturan gap sepanjang stroke punch (Demirci, 2008; Folle et al., 2019).
3. Tearing atau cracking merupakan kegagalan akibat regangan tarik melebihi batas kemampuan plastis material, ditandai oleh robekan pada area thinning maksimum. Penyebab utama tearing adalah BHF tinggi yang menghambat aliran material, pelumasan yang kurang, dan kecepatan penarikan yang tinggi, sehingga muncul konsentrasi tegangan lokal. Aluminium sangat rentan tearing karena sifat anisotropinya yang menyebabkan distribusi regangan tidak seragam (Leelaseat, 2024; Demirci, 2008). Berdasarkan FLD, tearing terjadi pada regangan mayor yang melebihi forming limit, mengindikasikan kegagalan deformasi plastik (Jirasak Srirat et al., dalam). Pencegahan tearing dilakukan dengan penggunaan pelumasan optimal, radius punch lebih besar, dan menjaga BHF dalam rentang aman (Bouchala et al., 2021).
4. Earing, cacat geometris berupa tonjolan pada tepi cup, disebabkan oleh anisotropi material aluminium yang memiliki nilai r-value berbeda pada arah rolling, transversal, dan diagonal. Perbedaan ini menyebabkan variasi aliran material dan menghasilkan tepi bergelombang (Demirci, 2008). Fraktur terjadi ketika regangan tarik melampaui batas deformasi maksimum, biasanya karena thinning berlebih, radius punch kecil, atau gesekan tinggi. BHF tinggi memperbesar risiko fraktur pada aluminium seri AA5xxx dan AA1xxx terutama bila permukaan material kasar atau kurang dilumasi. Studi finite element menunjukkan radius punch 4-6 mm efektif meredam konsentrasi tegangan di area transisi sehingga mengurangi risiko fraktur (Bahanan et al., 2023).
5. Pelumasan memainkan peran penting dalam menurunkan koefisien gesek antara blank, punch, dan die. Pelumasan optimal memfasilitasi aliran material yang seragam, menurunkan gaya tarik, dan menghindari risiko galling yang dapat menyebabkan cacat seperti earing dan fraktur (Folle, Lima, & Silva, 2019). Tanpa pelumas, gesekan bisa meningkat dua kali lipat, mempercepat munculnya cacat. Tren terkini menunjukkan pelumas berbasis nanopartikel mampu menurunkan koefisien gesek hingga 30% dan meningkatkan LDR secara signifikan dibandingkan pelumas konvensional (Gao, 2024).
6. Kecepatan penarikan (punch speed) berpengaruh besar terhadap laju regangan dan gaya gesek dinamis. Kecepatan tinggi (>30 mm/s) meningkatkan risiko necking, wrinkling, dan tearing akibat laju strain tinggi yang tidak bisa ditoleransi aluminium secara merata. Aluminium yang sensitif terhadap strain rate cepat menunjukkan fraktur lebih dini pada punch speed tinggi (Manabe et al., 2021). Sebaliknya, kecepatan rendah dengan pengaturan BHF variabel dapat meningkatkan kedalaman drawing dan mencegah cacat. Pada mikro-deep drawing, kecepatan tinggi malah memperparah earing akibat efek gesekan mikro (Bouchala et al., 2021).



SIMPULAN

Tinjauan literatur sistematis ini menyimpulkan bahwa parameter proses deep drawing—khususnya Blank Holder Force (BHF), pelumasan, dan kecepatan penarikan—memiliki pengaruh krusial terhadap kualitas produk aluminium melalui pengendalian aliran material dan pencegahan cacat pembentukan. BHF optimal (1.3-8 MPa) dengan pendekatan variabel terbukti paling efektif mencegah wrinkling (akibat kompresi flange berlebih pada BHF rendah) dan tearing/fraktur (akibat thinning ekstrem >20% pada BHF tinggi), sekaligus meningkatkan Limiting Drawing Ratio (LDR) hingga 2.14 pada seri AA5754 dan AA1100 (Demirci, 2008; Leelaseat, 2024; Manabe et al., 2021).

Pelumasan berbasis nanopartikel mengurangi koefisien gesekan (μ) hingga 30% dari 0.25, memfasilitasi aliran material seragam, mencegah galling dan earing akibat kekasaran permukaan ($R_a > 1.6 \mu\text{m}$), serta meningkatkan kualitas permukaan produk (Folle, Lima, & Silva, 2019; Gao, 2024). Kecepatan penarikan rendah (10-20 mm/s) dikombinasikan radius punch optimal (4-6 mm) meminimalkan earing anisotropik dan fraktur di sudut die, terutama pada laju regangan tinggi (>30 mm/s) yang memperburuk cacat pada aluminium sensitif strain rate (Bouchaâla et al., 2021; Bahanan et al., 2023).

Rekomendasi praktis untuk aplikasi industri otomotif: integrasi BHF adaptif (rendah awal, tinggi akhir), pelumas nano, dan kecepatan terkendali dengan validasi Forming Limit Diagram (FLD) untuk capai kualitas produk >95% bebas cacat, distribusi ketebalan seragam, dan LDR maksimum. Penelitian lanjutan disarankan pada simulasi FEM multi-stage untuk aluminium seri AA5xxx guna optimalisasi presisi tinggi (Manabe et al., 2021).

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Bahanan, W., et al. (2023). *A Finite Element Analysis of Cold Deep Drawing of Al Alloy Sheets*. Lubricants.
- 2) Bouchaâla, K., et al. (2021). *Numerical investigation of the effect of punch corner radius on deep drawing of AA1050 and AA1100*.
- 3) Demirci, H.İ. (2008). *The influence of blank holder force on drawing of aluminium alloys*.
- 4) Folle, L. F., Lima, T. N., & Silva, B. C. d. S. (2019). *Effect of surface roughness and lubrication on the friction coefficient in deep drawing of AA1100*.
- 5) Gao, Y. (2024). *Advances in friction of aluminium alloy deep drawing*.
- 6) Leelaseat, J. (2024). *Investigation on the Effect of Blank Holder Force and Initial Thickness on Thinning in Deep Drawing (AA5754)*.
- 7) Manabe, K., et al. (2021). *Effects of Variable Punch Speed and Blank Holder Force in Deep Drawing*. Metals.
- 8) Farhan Anggarito Pradana. PROSES DRAWING & DEEP DRAWING PADA SHEET METAL FORMING. <https://id.scribd.com/document/453907382/Kecacatan-Pada-Proses-Deep-Drawing>
- 9) M.R. Foudeh, S. Daneshmand, H.I Demirci. TRANSACTIONS OF FAMENA XXXVII-4 (2013). Investigating Aluminum Sheet Wrinkling during the Deep Drawing Process <https://hrcak.srce.hr/file/171777>
- 10) Helza_4DEC_BAB IV.pdf, (2024). https://repositori.polman-bandung.ac.id/id/eprint/235/4/Helza_4DEC_BAB%20IV.pdf



- 11) Halil.İbrahim Demirci ¹, Cemal Esner, Mustafa Yasar. Journal of Materials Procecing Technology (2008).
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0020740305000548>
- 12) Shoichiro Yoshihara, Ken-ichi Manabe, Hisashi Nishimura. Journal of Materials Processing Technology. EFFECT OF BLANK HOLDER FORCE CONTROL IN DEEP-DRAWING PROCESS OF MAGNESIUM ALLOY SHEET. (2005).
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013605006485>