

Analisis Nilai Elongasi Material terhadap *Cracksheet* pada Proses *Deep Drawing Nozzle* pada Unit Evaporator

Bhima Endra Wira Yudha^{1*}, Ali Akbar²

^{1,2} Prodi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo,
Jl. Raya Gelam 250, Sidoarjo, Indonesia

*Corresponding author: endrabhima@gmail.com

Abstract

This study aims to analyze the elongation values of Galvanized materials (DX51D, DX54D, DX53D) and Stainless Steel (SUS304, SUS316, SUS441) as key parameters in the deep drawing process of evaporator nozzle units. Tensile tests were conducted to determine the materials' ability to undergo plastic deformation without cracking, as well as to detect potential cracksheet formations during the forming process. The results showed that stainless steel materials, particularly SUS304 and SUS441, exhibited the highest elongation values at 45%, indicating superior resistance to extreme deformation. Meanwhile, DX54D emerged as the galvanized material with the highest elongation (36%) and did not crack during deep drawing, unlike DX51D and DX53D, which showed signs of cracksheet formation. The minimum elongation threshold to prevent structural failure during deep drawing was determined to be around 30%. Selecting materials with high elongation values and optimizing process parameters are crucial to ensuring production quality and efficiency. These findings provide a basis for determining the optimal material selection by balancing technical performance and cost efficiency.

Keywords: *Cracksheet, Elongation, Deep drawing.*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis nilai elongasi pada material Galvanized (DX51D, DX54D, DX53D) dan Stainless Steel (SUS304, SUS316, SUS441) sebagai parameter utama dalam proses *deep drawing nozzle* unit evaporator. Uji tarik dilakukan untuk menentukan kemampuan deformasi plastis tanpa menyebabkan keretakan, serta pencarian indikasi *cracksheet* yang dapat terjadi selama proses *deep drawing*. Hasil menunjukkan bahwa material stainless steel, khususnya SUS304 dan SUS441, memiliki nilai elongasi tertinggi sebesar 45%, menunjukkan ketahanan unggul terhadap deformasi ekstrem. Sementara itu, DX54D menjadi galvanis dengan elongasi tertinggi (36%) dan tidak mengalami retak saat *deep drawing*, berbeda dengan DX51D dan DX53D yang menunjukkan gejala *cracksheet*. Batas elongasi minimum untuk menghindari kegagalan struktural pada *deep drawing* ditentukan sekitar 30%. Pemilihan material dengan elongasi tinggi serta optimalisasi parameter proses menjadi krusial dalam menjamin kualitas dan efisiensi produksi. Hasil ini memberikan dasar untuk menentukan material optimal berdasarkan kombinasi performa teknis dan efisiensi biaya.

Kata kunci: *Cracksheet, Elongasi, Deep drawing.*

1. Pendahuluan

Dalam industri manufaktur, salah satu tantangan utama dalam menghasilkan produk berkualitas tinggi adalah memastikan bahwa material dapat beradaptasi dengan berbagai proses pembentukan, termasuk *deep drawing*, yang sering diterapkan pada komponen kompleks seperti *continuous nozzle* pada unit evaporator. Komponen ini mekanis yang mengatur arah dan karakteristik aliran fluida, baik cairan maupun gas[1]. Dalam aplikasi industri, *nozzle* ini sering digunakan untuk meningkatkan kecepatan aliran fluida saat keluar. Oleh karena itu,

pemilihan material yang tepat dan analisis sifat mekanisnya terutama nilai elongasi menjadi faktor penting dalam menentukan kualitas dan kinerja produk[2].

Deep drawing adalah teknik pembentukan logam yang umum digunakan untuk menghasilkan komponen ber dinding tipis dari lembaran logam[3]. Dalam proses ini, material ditempatkan di atas die dan ditekan oleh punch, yang menyebabkan material mengalami deformasi plastis hingga mencapai bentuk yang diinginkan. Agar material dapat menyesuaikan dengan bentuk die tanpa retakan atau kerusakan lain, sifat mekanis seperti elongasi atau *ductility* sangat diperlukan[4].

Material yang sering digunakan untuk komponen evaporator meliputi galvanis dan stainless steel. Masing-masing material memiliki keunggulan tersendiri, namun karakteristik elongasi pada galvanis dan stainless steel berpengaruh besar terhadap kemampuan pembentukannya dalam proses deep drawing[5]. Nilai elongasi adalah parameter penting yang menentukan kemampuan material mengalami deformasi plastis tinggi tanpa menyebabkan kerusakan[6]. Pada konteks penelitian ini, hipotesis awal adalah bahwa semakin tinggi nilai elongasi material, semakin baik hasil pembentukannya. Berdasarkan penelitian terdahulu, Herno Prawito (2018) dalam penelitiannya yang berjudul “Optimalisasi Performa Proses Deep Drawing Material SPCD Steel dengan Metode Finite Element dan Eksperimental”, material dengan nilai elongasi di bawah 30% umumnya dianggap kurang mampu mengalami deformasi plastis yang memadai untuk proses *deep drawing* yang efektif[7]. Material dengan elongasi rendah cenderung lebih rapuh dan tidak dapat menahan tegangan selama proses pembentukan, sehingga berisiko mengalami retakan. Artinya, material dengan elongasi tinggi cenderung lebih mampu menahan deformasi signifikan selama pembentukan tanpa mengalami retak atau patah, sehingga menghasilkan komponen dengan bentuk optimal dan konsistensi dimensi yang baik[8].

Elongasi, yang mengacu pada kemampuan material untuk meregang sebelum mencapai titik patahnya, sangat penting dalam proses deep drawing. Material dengan elongasi tinggi akan lebih mudah mengikuti bentuk die dan punch tanpa risiko retak. Sebaliknya, material dengan elongasi rendah cenderung lebih rentan terhadap retakan saat mengalami deformasi besar, yang berarti material tersebut mungkin tidak dapat mencapai bentuk yang diinginkan[9]. Pada aplikasi nozzle evaporator, di mana ketahanan dan ketepatan bentuk sangat penting, kemampuan material untuk bertahan

terhadap tekanan dan perubahan bentuk tanpa mengalami kerusakan menjadi aspek utama yang harus diperhatikan.

Penelitian ini menggunakan material galvanis dan stainless steel sebagai sampel untuk menganalisis perbedaan elongasi dan pengaruhnya terhadap proses deep drawing nozzle. Galvanis adalah baja karbon yang dilapisi zinc untuk mencegah korosi, sedangkan stainless steel, yang mengandung kromium, memiliki ketahanan korosi yang baik secara alami[10]. Meskipun kedua material ini banyak digunakan di industri, masing-masing memiliki karakteristik elongasi dan kekuatan yang berbeda. Oleh karena itu, penelitian ini akan menguji hipotesis bahwa material dengan elongasi lebih tinggi, seperti stainless steel, akan memberikan hasil pembentukan yang lebih baik dalam proses deep drawing nozzle.[11]

Pemilihan material galvanis dan stainless steel juga mempertimbangkan beberapa aspek lainnya. Selain ketahanan korosi, keduanya memiliki kekuatan yang cukup untuk aplikasi evaporator[12], [13]. Namun, perbedaan komposisi kimia dan struktur mikro pada galvanis dan stainless steel mempengaruhi karakteristik elongasi masing-masing. Secara umum, stainless steel memiliki elongasi yang lebih tinggi dibandingkan galvanis, sehingga cenderung lebih ductile atau mudah dibentuk[14].

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh nilai elongasi material terhadap kemampuan proses deep drawing, khususnya dalam pembentukan nozzle pada unit evaporator. Fokus utama penelitian adalah menilai apakah material dengan nilai elongasi yang lebih tinggi memberikan keunggulan signifikan dibandingkan material galvanis yang memiliki elongasi lebih rendah.

Selain itu, penelitian ini juga berupaya menentukan batas minimum nilai elongasi yang masih memungkinkan proses pembentukan deep drawing tanpa menimbulkan cacat berupa cracksheet, mengingat pada beberapa penelitian sebelumnya material dengan elongasi di bawah 30% cenderung kurang mampu

dibentuk secara optimal. Tujuan akhirnya adalah menemukan material yang paling sesuai untuk pembuatan nozzle evaporator sekaligus mengoptimalkan efisiensi dan biaya produksi.

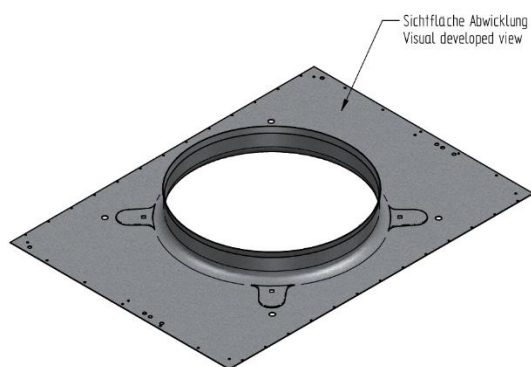
Metode kuantitatif digunakan untuk mengumpulkan data numerik dan melakukan analisis statistik terkait nilai elongasi, deformasi, dan potensi keretakan pada kedua material. Data ini memungkinkan penilaian objektif terhadap performa masing-masing material.

Metode eksperimental diterapkan dengan menggunakan mesin deep drawing untuk membentuk nozzle dari galvanis dan stainless steel, serta mengamati adanya retak atau cacat setelah pembentukan. Hasilnya dianalisis melalui observasi bentuk nozzle dan kemungkinan kerusakan, sehingga material yang paling sesuai untuk unit evaporator dapat diidentifikasi.

2. Metode Penelitian

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif, yang melibatkan pengukuran objektif dan pengujian hipotesis secara numerik[15]. Data yang dikumpulkan mencakup pengukuran elongasi material serta evaluasi tingkat keretakan (*crack*) pada setiap material setelah dilakukan pengujian deep drawing.

2.1 Desain Continuous Nozzle



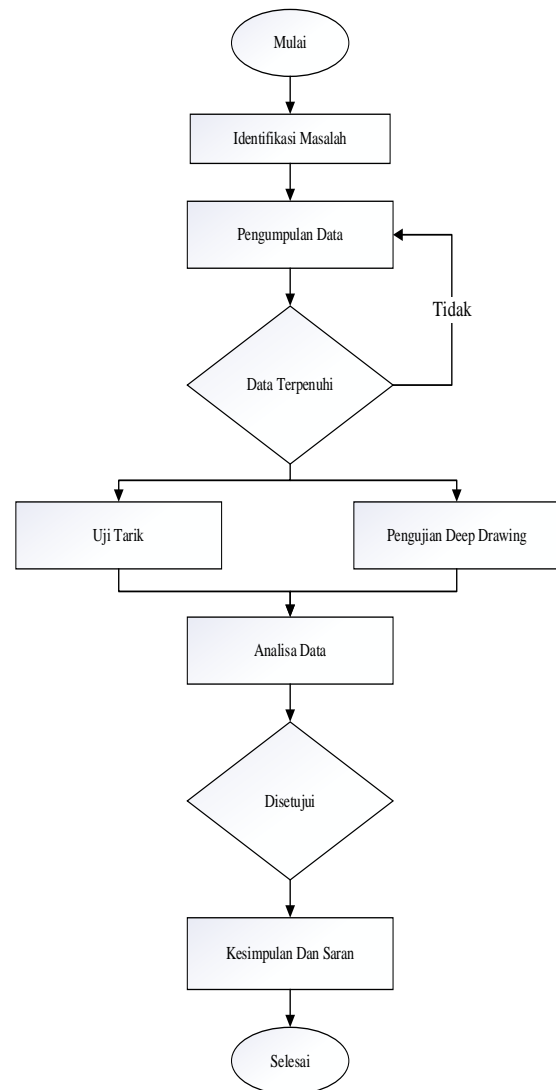
Gambar 1. Continuous Nozzle

Gambar 1 adalah desain dari continuous nozzle, yang umumnya diterapkan pada proses industri yang memerlukan distribusi fluida secara konsisten. Continuous nozzle ini sering

digunakan dalam aplikasi pemanasan atau pendinginan pada sistem HVAC, serta pada proses manufaktur yang melibatkan cairan atau gas[16].

2.2 Diagram Alir

Dalam penelitian ini, langkah-langkah proses penelitian akan dijelaskan dalam diagram alir (*flowchart*), Diagram alir (*flowchart*) dapat dilihat Gambar 2 tersebut.



Gambar 2. Diagram Alir

2.3 Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini dimulai dengan pengujian enam jenis material, yaitu tiga galvanis (DX51D, DX54D, DX53D) dan tiga stainless steel (SUS304, SUS316, SUS441), untuk menilai ketahanan deformasinya. Tahap pertama adalah uji Tarik dengan standar ASTM E8 untuk mengukur nilai elongasi sebagai indikator

kemampuan material menahan deformasi sebelum patah. Selanjutnya, material diuji melalui deep drawing menggunakan mesin press hidrolik untuk dibentuk menjadi nozzle, kemudian diamati apakah terdapat keretakan atau deformasi yang menunjukkan kelemahan material.

Tabel 1. Jenis Material

Material	Std.	Short Name	Thickness (mm)
Galvanize	SP15-1	DX51D	2
Galvanize	SP15-2	DX54D	2
Galvanize	SP15-3	DX53D	2
Stainless	SP16-1	SUS304	2
Stainless	SP16-2	SUS316	2
Stainless	SP16-3	SUS441	2

Pengujian pertama adalah uji tarik, yang bertujuan menentukan nilai elongasi material atau kemampuan material untuk meregang sebelum patah. Proses ini dilakukan dengan memasang sampel material pada mesin uji tarik, yang kemudian ditarik hingga putus. Selama proses tersebut, peningkatan panjang material (Δl) diukur untuk mengamati perubahan dimensi akibat gaya tarik yang diberikan dengan menggunakan standar Uji Tarik ASTM E8. Berikut adalah alat uji tarik yang digunakan:



Gambar 3. Mesin Uji Tarik

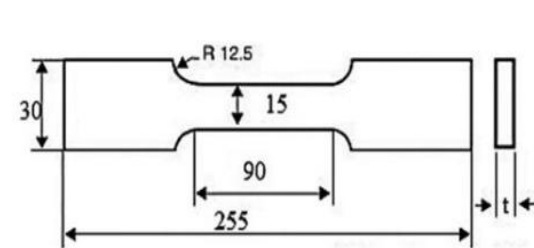
Setelah uji tarik selesai dilakukan, langkah berikutnya adalah menghitung nilai elongasi masing-masing material. Nilai elongasi ini diperoleh dengan menggunakan rumus elongasi, yang menghitung persentase perubahan panjang material terhadap panjang awalnya.

$$\text{Elongasi} = \left(\frac{\Delta l}{l_0} \right) \times 100\%$$

Di mana

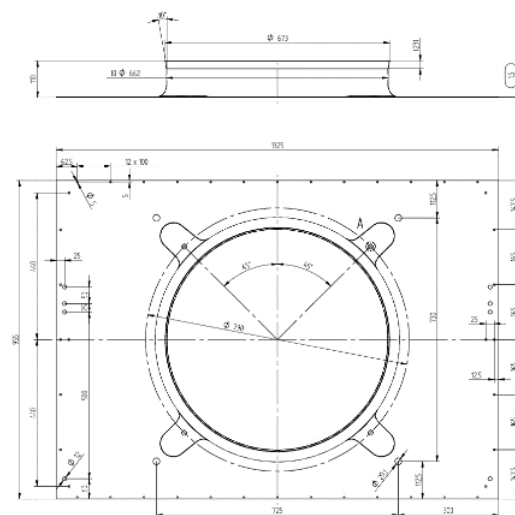
Δl = pertambahan panjang (panjang setelah putus dikurangi panjang awal).

l_0 = panjang awal sampel sebelum diuji.



Gambar 4 Spesimen Uji Tarik ASTM E8

Berikut ini adalah gambar desain (drawing) untuk proses *deep drawing* dalam pembentukan continuous nozzle. Desain ini mencakup detail dimensi dan spesifikasi teknis yang diperlukan untuk memastikan material dapat dibentuk secara optimal tanpa mengalami keretakan atau deformasi yang tidak diinginkan.



Gambar 5. Drawing Continuous Nozzle

Proses *deep drawing* dilakukan dengan menggunakan mesin press hidrolik. Material galvanis dan stainless steel

dibentuk menjadi nozzle, dan hasilnya diamati untuk menilai kualitas pembentukan, adanya retak, atau deformasi yang signifikan setelah pembentukan.



Gambar 6. Mesin press hidrolis

Perbedaan ukuran tooling dalam proses deep drawing pada material galvanis dan stainless steel disebabkan oleh variasi sifat mekanis, koefisien gesek, serta pegas balik (*springback*) dari kedua material tersebut. Material galvanis, yang umumnya terdiri dari baja karbon dengan lapisan seng, memiliki nilai elongasi yang lebih tinggi dibandingkan stainless steel, sehingga lebih mampu meregang sebelum mengalami keretakan. Selain itu, sifatnya yang lebih lunak memungkinkan penggunaan clearance cetakan yang lebih kecil dibandingkan stainless steel. Sebaliknya, stainless steel memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dengan nilai elongasi yang lebih rendah, sehingga lebih rentan terhadap retak saat proses pembentukan. Oleh karena itu, tooling untuk stainless steel memerlukan clearance yang lebih besar guna menghindari tegangan berlebih yang dapat menyebabkan kegagalan pada material.

Selain itu, perbedaan koefisien gesek juga berpengaruh terhadap desain tooling. Material galvanis memiliki lapisan seng yang meningkatkan gesekan selama proses deep drawing, sehingga diperlukan modifikasi pada die radius dan punch radius untuk mengurangi risiko cacat seperti galling atau scuffing. Sementara itu, stainless steel memiliki permukaan yang lebih halus, tetapi tetap membutuhkan pelumasan khusus karena sifatnya yang lebih keras dan lebih sulit dibentuk. Perbedaan lain yang signifikan adalah

tingkat springback, di mana stainless steel memiliki modul elastisitas yang lebih tinggi, menyebabkan kecenderungan pegas balik yang lebih besar dibandingkan galvanis. Untuk mengkompensasi hal ini, tooling stainless steel umumnya memiliki dimensi yang lebih besar agar hasil akhir tetap sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

Diameter	Height	Thickness	Material	Flange Diameter	Internal Diameter	PREHOLE Diameter	Type Rollers (Top Tool)
GALVANIZED							
711	120	2	Galvanized DX51	784 ±1.5	711 ±1.5	453	<p>Type 1 D = 634 - 1000 Galvanized / Aluminum</p>
797	120	1.5	Galvanized DX51	870 ±4	797 ⁺² / ₋₁	542	
914	140	2	Galvanized DX51	984 ⁺³ / ₋₂	914.5 ±1.5	630	
914	210	2	Galv. DX54	982 ±4	913 ⁺² / ₋₁	496	
Other Type : TBD							

STAINLESS STEEL							
711	120	1.5	SS	784 ±1.5	711 ±1.5	459	<p>Type 2 D = 711 - 914 Height Max = 140 Stainless Steel (AISI)</p>
914	140	1.5	SS	984 ⁺³ / ₋₂	914.5 ±1.5	635	
Other Type : TBD							

Gambar 7. Ukuran tool setiap material

3. Hasil dan Pembahasan

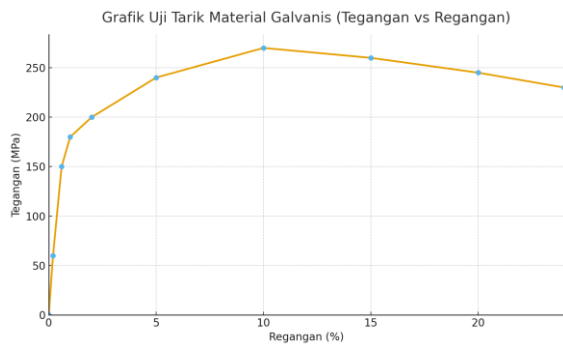
3.1 Uji Tarik

Usai dilakukan pengujian tarik pada material *Galvanized Materials* (SP15-1 DX51D, SP15-2 DX54D, SP15-3 DX53D) dan *Stainless Steel Materials* (SP16-1 SUS304, SP16-2 SUS316, SP16-3 SUS441), diperoleh data nilai elongasi yang merupakan salah satu parameter utama dalam menganalisis kemampuan deformasi material selama proses *deep drawing* nozzle pada unit evaporator. Nilai elongasi ini mencerminkan tingkat fleksibilitas material untuk meregang tanpa mengalami kerusakan atau kegagalan struktur, menjadikannya sebagai indikator yang signifikan dalam mengevaluasi performa serta keandalan material dalam memenuhi kebutuhan aplikasi teknis.

Informasi ini menjadi sangat penting untuk menentukan material yang paling sesuai, baik dalam mendukung proses manufaktur maupun dalam memastikan kualitas dan ketahanan produk akhir.

Berikut adalah hasil pengujian nilai elongasi untuk masing-masing material:

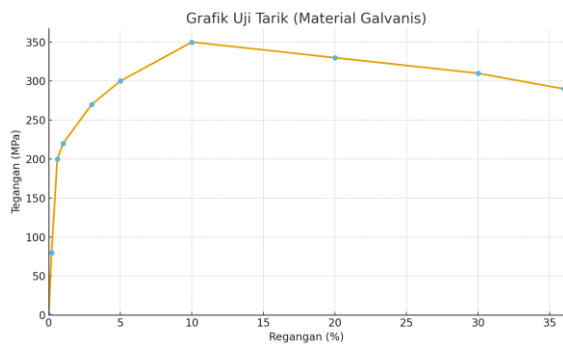
a. Galvanize SP15-1 DX51D



Gambar 8. Hasil Uji Tarik Galvanize SP15-1 DX51D

Material ini memiliki yield strength 180 MPa dan tensile strength 270 MPa, dengan elongasi sebesar 24%. Angka elongasi ini cukup baik untuk proses deep drawing, menunjukkan kemampuan regang plastis yang memadai untuk membentuk geometri sederhana hingga menengah tanpa mudah retak.

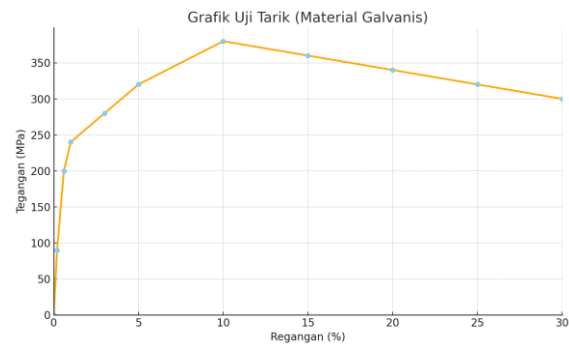
b. Galvanize SP15-2DX54D



Gambar 9. Hasil Uji Tarik Galvanize SP15-2DX54D

Material ini memiliki yield strength 220 MPa dan tensile strength 350 MPa, material ini memiliki elongasi tertinggi di antara galvanis lainnya, yaitu 36%. Ini menunjukkan kemampuan deformasi plastis yang sangat baik, cocok untuk pembentukan dalam (deep drawing) dengan kompleksitas tinggi dan kedalaman yang lebih besar.

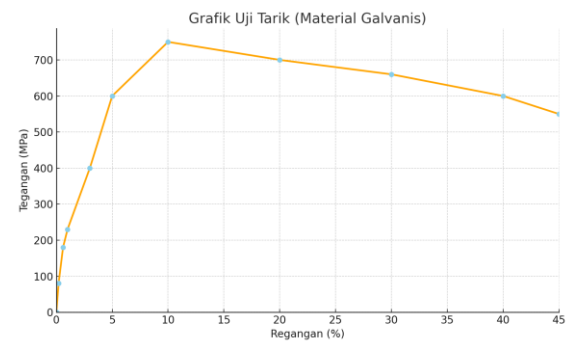
c. Galvanize SP15-3 DX53D



Gambar 10. Hasil Uji Tarik Galvanize SP15-3 DX53D

Material ini menunjukkan yield strength 140–260 MPa dan tensile strength 270–380 MPa, dengan elongasi 30%. DX53D menawarkan keseimbangan antara kekuatan tarik dan kemampuan regang, menjadikannya ideal untuk aplikasi dengan kebutuhan *formability* sedang hingga tinggi.

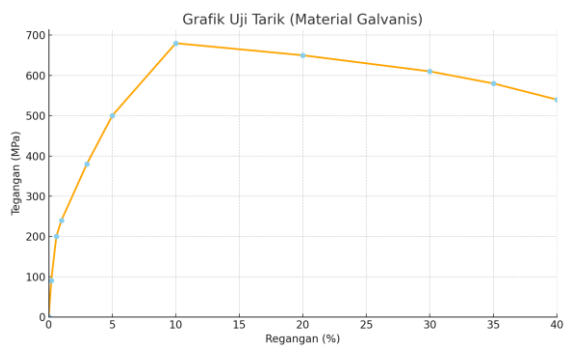
d. Stainless Steel SP16-1SUS304



Gambar 11. Hasil Uji Tarik Stainless Steel SP16-1SUS304

Material ini memiliki yield strength 230 MPa dan tensile strength 750 MPa, serta elongasi 45%, Stainless Steel SP16-1 SUS304 menunjukkan performa yang sangat baik untuk deep drawing. Elongasi tinggi dan kekuatan yang cukup membuatnya cocok untuk aplikasi struktural dan presisi tinggi.

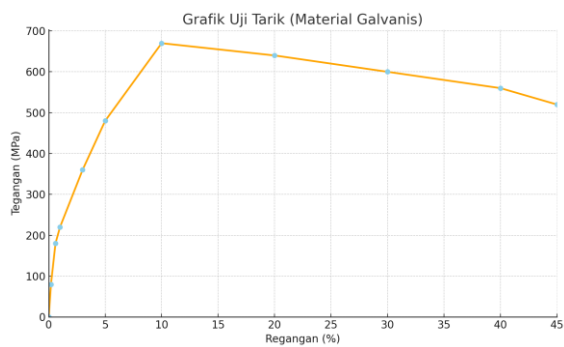
e. Stainless SP16-2 SUS316



Gambar 12. Hasil Uji Tarik Stainless SP16-2 SUS316

Material Stainless SP16-2 SUS316 memiliki yield strength 240 MPa, tensile strength 680 MPa, dan elongasi 40%. SUS316 memiliki ketahanan korosi lebih baik dibanding SUS304, dan elongasi tinggi menjadikannya ideal untuk pembentukan dalam di lingkungan yang agresif.

f. Stainless SP16-3SUS441



Gambar 13. Hasil Uji Tarik Stainless SP16-3SUS441

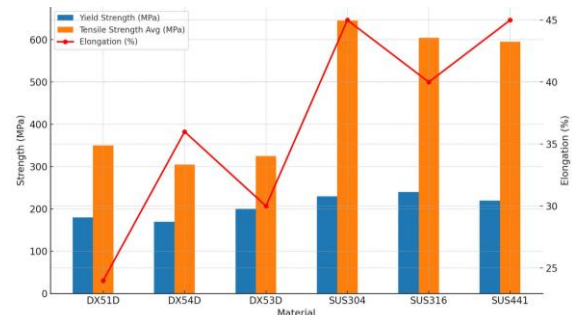
Material Stainless SP16-3 SUS441 memiliki yield strength 220 MPa, tensile strength 670 MPa, dan elongasi 45%, Stainless SP16-3 SUS441 menunjukkan sifat mekanik yang mendekati Stainless SP16-3 SUS304 namun dengan kelebihan pada ketahanan suhu tinggi. Sangat cocok untuk komponen otomotif dan peralatan rumah tangga yang melalui proses pembentukan mendalam.

Dengan dilakukan pengujian tarik, Penelitian ini bertujuan menentukan material terbaik untuk continuous nozzle unit evaporator berdasarkan performa dalam pengujian tarik dan deep drawing. Material dengan elongasi tinggi dianggap mampu

mengalami deformasi lebih baik tanpa retak atau pecah selama proses pembentukan.

Tabel 2. Hasil nilai elongasi pada setiap material

No	Material	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
1	Galvanize SP15-1 DX51D	180	270-430	24
2	Galvanize SP15-2 DX54D	120-220	260-350	36
3	Galvanize SP15-3 DX53D	140-260	270-380	30
4	Stainless SP16-1 SUS304	230 (Rp0.2)	540-750	45
5	Stainless SP16-2 SUS316	240 (Rp0.2)	530-680	40
6	Stainless SP16-3 SUS441	220 (Rp0.2)	520-670	45



Gambar 13. Hasil Uji Tarik Material

Galvanized SP15-2 DX54D dan SP15-3 DX53D cocok untuk proses deep drawing dengan deformasi sedang hingga tinggi, berkat elongasi yang lebih baik dibandingkan DX51D. Namun, untuk deformasi ekstrem, stainless steel SP16-1 SUS304 dan SP16-3 SUS441 lebih unggul. Kedua material ini mampu menghadapi perubahan bentuk signifikan tanpa kegagalan struktural, menjadikannya ideal untuk aplikasi teknis yang membutuhkan ketahanan tinggi.

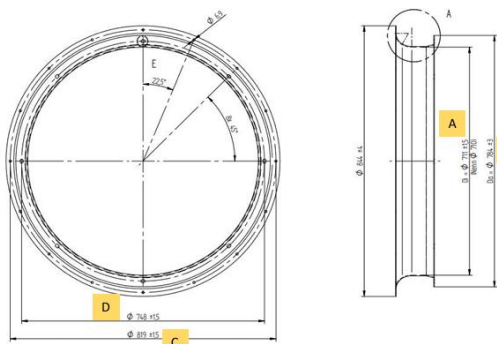
Pada unit evaporator, continuous nozzle memerlukan material dengan kemampuan deformasi tinggi untuk

memastikan pemasangan yang presisi dan daya tahan jangka panjang. Dalam hal ini, stainless steel dan beberapa material galvanized menjadi pilihan unggulan karena elongasi tinggi yang memberikan fleksibilitas selama proses pembentukan serta meningkatkan ketahanan terhadap keausan. Hal ini menjadikannya lebih andal dibandingkan material lain untuk kebutuhan performa tinggi.

Stainless steel sangat cocok untuk proses deep drawing, yang memerlukan deformasi ekstrem tanpa retak atau kegagalan struktural. Namun, di sisi lain, material galvanized tetap dipertimbangkan untuk proses deep drawing karena biayanya yang lebih ekonomis. Oleh karena itu, melalui uji coba deep drawing, dapat ditentukan material mana yang paling minim mengalami kerusakan sekaligus lebih efisien dari segi biaya, sehingga menghasilkan solusi yang optimal untuk kebutuhan operasional.

3.2 Deep Drawing

Hasil pengujian menunjukkan adanya cacat *crack* akibat tegangan tarik berlebih, perubahan ketebalan, dan perbedaan sifat mekanis material. Uji tarik dengan spesifikasi tools yang berbeda dilakukan untuk memahami faktor ini lebih lanjut. Hasilnya menunjukkan variasi kuat tarik, elongasi, dan modulus elastisitas, mengindikasikan bahwa spesifikasi alat uji memengaruhi respons material selama pengujian.



Gambar 14. Bentuk Proses Deep Drawing

Analisis lebih lanjut diperlukan untuk memahami keterkaitan antara parameter uji dan sifat mekanik material.

a. Galvanize SP15-1 DX51D

Dimensional check	Point	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	Sample 7	Judgement	NOTE:
B	B1	791	792	789	790	795	786	786	OK (Sample 6-7 reprogram)	OK all dimension (sample 6&7 trial 31.8.23)
	B2	791	789	788	788	786	787	787		
	B3	792	788	790	788	786	786	787		
	B4	794	790	787	789	784	786.5	786.5		
	Std : 784±3	781	781.0	784.75	788.5	788.9	785.3	786.6		
Dimensional check	Point	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	Sample 7	Judgement	Prepared:
C	C1	818	818	818	818	817	817.5	817.5	OK (Sample 6-7 reprogram)	Checked...
	C2	818	818	817	817	817	818	817.5		
	C3	816	819	817	814	816	818	818		
	C4	819	817	819	819	818	817.5	818		
	Std : 819 ±1.5	817.5	817.8	818.0	817.8	817.9	817.6	817.8		
Dimensional check	Point	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	Sample 7	Judgement	Approved:
D	D1	752	752	748	748	747	748.5	748.5	OK (Sample 6-7 reprogram)	Approved:
	D2	752	752	748	748	747	749	749		
	D3	752	752	748.5	747	747	748.5	748		
	D4	752	752	747	747.5	748	749	749		
	Std : 748 ±1.5	746.5	748.25	748.0	747.9	747.6	747.3	748.8		

Gambar 15. Cracksheet Galvanize SP15-1 DX51D

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa material Galvanize SP15-1 (DX51D) masih berada dalam toleransi dimensi yang sesuai standar. Namun, adanya reprogram pada sampel 6 dan 7 menandakan bahwa proses awal perlu disesuaikan, kemungkinan karena mulai muncul regangan berlebih atau gejala retak awal.

Secara mekanis, DX51D memiliki elongasi 24%, cukup untuk pembentukan ringan hingga sedang. Namun, karena tegangan tariknya cukup tinggi, material ini rentan mengalami retak jika proses deep drawing tidak dikontrol dengan baik, terutama pada area sempit atau radius kecil. Maka, kontrol proses yang presisi sangat penting agar material tidak mengalami deformasi berlebih.

b. Galvanize SP15-2DX54D

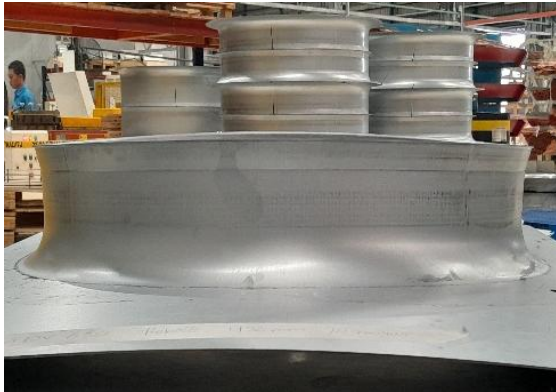
Dimensional check	Point	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	Sample 7	Judgement	NOTE:	
B	B1	795	795	784	785	785	786	786	OK	OK all dimension	
	B2	784	785	785	785	786	787	787			
	B3	786	784	785	785	784	787	787			
	B4	784	784	785	785	784	786.5	786.5			
	Std : 784±3	781	784.75	784.50	784.8	785.0	784.8	786.6			786.6
Dimensional check	Point	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	Sample 7	Judgement	Prepared:	
C	C1	818	818	818	818	817	817.5	817.5	OK	Checked...	
	C2	818	818	817	817	817	818	817.5			
	C3	817	819	817	818	818	818	818			
	C4	819	817	819	819	817	818	817.5			818
	Std : 819 ±1.5	817.5	818.0	818.0	817.8	817.5	817.5	817.8			817.8
Dimensional check	Point	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	Sample 7	Judgement	Approved:	
D	D1	748	748	748	748	747	748.5	748.5	OK	Approved:	
	D2	748	748	748	748	747	749	749			
	D3	748	747	748.5	747	747	748.5	748			
	D4	749	749	747	747.5	748	749	748			
	Std : 748 ±1.5	746.5	748.25	748.00	747.9	747.6	747.3	748.8			748.4

Gambar 16. Cracksheet Galvanize SP15-2DX54D

Hasil *cracksheet* menunjukkan bahwa semua dimensi material Galvanize SP15-2 (DX54D) berada dalam batas toleransi dan tidak ada cacat bentuk. Proses pembentukan berjalan baik tanpa retakan.

DX54D memiliki elongasi tinggi (36%), yang membuatnya sangat lentur dan mampu menahan regangan besar saat deep

drawing. Karena itu, material ini tidak memerlukan rework atau reprogram, dan sangat cocok untuk pembentukan dalam seperti ventilator plate, dengan risiko *cracksheet* yang rendah.



Gambar 17. Hasil *Deep Drawing*

c. Galvanize SP15-3 DX53D

Dimensional check	Point	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	Sample 7	Judgement	NOTE:
B	B1	708	710	712	708	716			NOT OK	Dimension out of tolerans >1.8 mm Max. please check impact and decision
	B2	709	708	711	715	708				
	B3	710	711	715	710	711				
	B4	715	710	709	711	712				
Std : 707±3	704 710	708.50 710	709.75 710	713.50 711.0	713.0 714.8					
Dimensional check	Point	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	Sample 7	Judgement	Prepared:
C	C1	674	674	675	675	675			OK	
	C2	674	674	674	675	675				
	C3	674	674	674	675	675				
	C4	674	674	675	675	674				
Std : 674 ±1.5	672.5 675.5	674.0 674.0	674.0 674.5	674.5 675.0	674.8					Checked:
Dimensional check	Point	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	Sample 7	Judgement	Approved:
D	D1	751	753	753	751	753			OK	
	D2	752	752	752	753	751				
	D3	752	752	751	750	751				
	D4	751	750	751	751	750				
Std : 752 ±1.5	750.5 753.5	751.50 751.75	751.75 751.8	751.3 751.3						

Gambar 18. *Cracksheet* Galvanize SP15-3 DX53D

Pada *cracksheet* Galvanize SP15-3 DX53D, ditemukan beberapa dimensi yang melebihi toleransi, khususnya di bagian B. Hasil ini menunjukkan adanya regangan berlebih yang bisa memicu retak atau *cracksheet*, terutama saat proses pembentukan.

Meski Galvanize SP15-3 DX53D punya elongasi 30%, yang cukup baik untuk deep drawing, material ini tetap bisa cacat jika proses tidak dikontrol dengan tepat. Catatan "NOT OK" pada area nozzle memperkuat adanya ketidaksesuaian bentuk akibat proses yang kurang presisi.



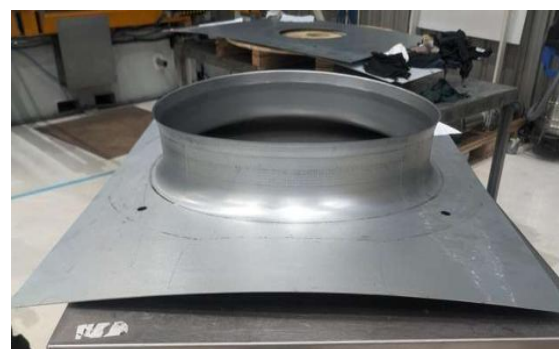
Gambar 19. Hasil *Deep Drawing*

d. Stainless Steel SP16-1SUS304

Dimensional check	Point	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	Sample 7	Judgement	Prepared:
B	B1	984							OK	
	B2	981								
	B3	984								
	B4	983.5								
Std : 984 +3 -2	982 987	983.9	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
Dimensional check	Point	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	Sample 7	Judgement	Checked:
C	C1	1035							OK	
	C2	1035								
	C3	1034								
	C4	1034								
Std : 1035 ±1	1034 1036	1034.5	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
Dimensional check	Point	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	Sample 7	Judgement	Approved:
D	D1	954	953.5	953.5					OK	
	D2	955	954	953.5						
	D3	956	954	954						
	D4	954	953	953						
Std : 954 ±1.5	952.5 955.5	954.8	953.67	953.50	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		

Gambar 20. Stainless Steel SP16-1SUS304

Material Stainless Steel SP16-1SUS304 menunjukkan hasil dimensi sesuai standar dan bebas dari retakan. Semua titik ukur dinyatakan OK, termasuk area fan nozzle. Dengan elongasi tinggi ($\pm 45\%$) dan tensile strength hingga 750 MPa, SUS304 memiliki kemampuan deformasi plastis yang sangat baik, sehingga cocok untuk deep drawing. Selama uji coba, tidak ditemukan rework, reprogram, atau penyimpangan dimensi, yang membuktikan bahwa SUS304 mampu dibentuk secara stabil bahkan pada kecepatan dan tekanan tinggi.



Gambar 21. Hasil *Deep Drawing*

e. Stainless SP16-2 SUS316

Dimensional check	Point	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	Sample 7	Judgement	Prepared :
B	B1	818	818	819	818	818	818	818	OK	
	B2	818	818	819	818	818	818	818		
	B3	818	817	818	818	818	818	818		
	B4	818	817	818	818	818	818	818		
Std : 819 ±1.5	817.5 820.5	818.00	817.50	818.50	818.00	818.00	818.00	818.00		Checked :
Dimensional check	Point	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	Sample 7	Judgement	Approved :
C	C1	784	784	785	784	784	785	784	OK	
	C2	784	785	785	784	785	785	784		
	C3	785	785	784	784	785	784	785		
	C4	785	785	785	785	784	785	784		
Std : 784 ±3	781 787	784.50	784.75	784.75	784.25	784.50	784.75	784.25		Approved :

Gambar 22. Stainless SP16-2 SUS316

Material Stainless Steel SP16-1 SUS316 menunjukkan hasil dimensi yang sesuai standar pada semua titik ukur (A, B, C) dan bebas dari retakan, termasuk di bagian fan nozzle. Tidak ada catatan rework atau penyimpangan proses.

Dengan elongasi 40% dan tensile strength 530–680 MPa, SUS316 sangat cocok untuk deep drawing, karena mampu menahan regangan tinggi tanpa cacat. Uji coba ini membuktikan bahwa Stainless Steel SP16-1 SUS316 dapat dibentuk presisi dengan geometri kompleks tanpa *cracksheet*.



Gambar 23. Hasil Deep Drawing

f. Stainless SP16-3SUS441

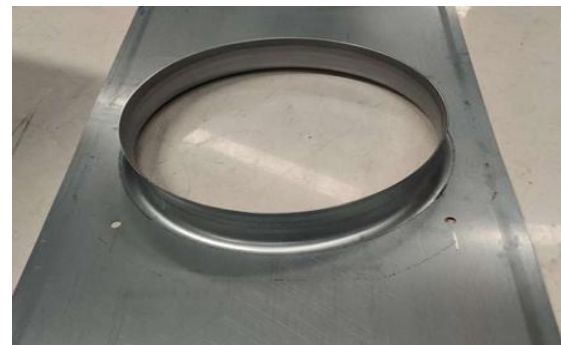
Dimensional check	Point	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	Sample 7	Judgement	NOTE :
B	B1	989	984	980	986	986	983	984	OK Sample 2 - 7 (reprogram)	Sample 1 : NG caused program still using old setup (same Height 210 galvanize)
	B2	990	987	982	983	985	983	985		
	B3	990	983	983	984	985	987	984		
	B4	987	982	985	983	987	983	986		
Std : 984 ±3	982 987	989.00	984.00	982.8	984.0	985.8	984.0	984.8		
Dimensional check	Point	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	Sample 7	Judgement	Prepared :
C	C1	1035	1035	1035	1035	1035	1034	1035	OK	
	C2	1035	1035	1034	1034	1035	1034	1034		
	C3	1036	1035	1034	1034	1034	1035	1035		
	C4	1034	1035	1035	1035	1036	1035	1035		
Std : 1035 ±1	1034 1036	1035.0	1035.0	1034.5	1034.5	1035.0	1034.5	1034.8		Checked :
Dimensional check	Point	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	Sample 7	Judgement	Approved :
D	D1	955	953	954	955	954	954	954	OK Sample 2 - 7 (reprogram)	
	D2	957	954	953	954	953	954	955		
	D3	957	955	955	955	955	957	955		
	D4	956	954	954	954	955	954	954		
Std : 954 ±1.5	952.5 955.5	956.25	954.00	954.0	954.5	954.3	954.8	954.5		Approved :

Gambar 24. Cracksheet Stainless SP16-3SUS441

Proses pembentukan SUS441 awalnya menghasilkan hasil NG pada Sample 1 karena masih menggunakan program lama untuk material galvanis. Akibatnya, dimensi B1–B3 melebihi toleransi standar (hingga 990 mm).

Namun, setelah reprogram mulai Sample 2–7, semua hasil kembali OK, termasuk bagian fan nozzle. Ini menunjukkan bahwa masalah bukan dari material, melainkan dari parameter proses yang belum sesuai.

Dengan elongasi 45% dan tensile strength 520–670 MPa, SUS441 sangat cocok untuk deep drawing, asalkan proses disesuaikan. Setelah penyesuaian, tidak ditemukan retakan atau *cracksheet* selama pembentukan.



Gambar 25. Hasil Deep Drawing

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis nilai elongasi material terhadap proses deep drawing nozzle pada unit evaporator, dipilihnya Galvanize SP15-2 DX54D sebagai material utama untuk pembuatan continuous nozzle didasarkan pada hasil pengujian yang menunjukkan bahwa material ini tidak mengalami crack selama proses deep drawing serta lebih ekonomis dibandingkan dengan Stainless SP16-1 SUS304. Namun, SUS304 tetap disiapkan sebagai cadangan apabila terjadi crack pada produksi.

Penelitian ini menegaskan bahwa nilai elongasi memiliki pengaruh signifikan dalam proses deep drawing, sebagaimana didukung oleh temuan dalam jurnal “Optimalisasi Performa Proses Deep Drawing Material SPCD Steel dengan Metode Finite Element dan Eksperimental”,

yang menyebutkan bahwa material dengan nilai elongasi 30% mengalami crack. Hal ini juga membuktikan bahwa material dengan elongasi 30% tidak cukup aman untuk proses pembentukan dalam, karena berada di batas minimal deformasi plastis yang diperlukan.

Dengan demikian, studi ini memperkuat pemahaman mengenai pentingnya pemilihan material berdasarkan karakteristik elongasi untuk mengoptimalkan proses deep drawing.

Ucapan terimakasih

Terima kasih kepada Bapak Rifat Hasan atas bimbingan selama di lapangan, serta seluruh tim Departemen *Production Engineer* PT Guntner Indonesia atas dukungan dan pengetahuannya. Penghargaan juga saya sampaikan kepada keluarga atas doa dan semangat yang tak henti, khususnya kepada almarhum ayah, Anindra Busana Budi, atas prinsip hidup yang ditanamkan. Ucapan terima kasih juga kepada Dyah Risqi Amalia atas ide dan dorongannya, serta kepada Fery, Dhea, Rexa, Kopte dan *About 10 PM* atas dukungan dan kebersamaan selama proses ini.

Referensi

- [1] H. Zein, M. El Sherbiny, M. Abd-Rabou, and M. El shazly, "Thinning and spring back prediction of sheet metal in the deep drawing process," *Mater Des*, vol. 53, pp. 797–808, 2014, doi: 10.1016/j.matdes.2013.07.078.
- [2] Y. Shao, M. Liu, and J. Wang, "Continuous detonation engine and effects of different types of nozzle on its propulsion performance," *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 23, no. 6, pp. 647–652, Dec. 2010, doi: 10.1016/S1000-9361(09)60266-1.
- [3] A. I. O. Zaid, "Deep drawing mechanism, parameters, defects and recent results: State of the art," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Sep. 2016. doi: 10.1088/1757-899X/146/1/012009.
- [4] F. Fereshteh-Saniee and M. H. Montazeran, "A comparative estimation of the forming load in the deep drawing process," in *Journal of Materials Processing Technology*, Sep. 2015, pp. 555–561. doi: 10.1016/S0924-0136(03)00793-3.
- [5] S. Ismarwanti, J. Setiawan, M. K. Ajiriyanto, and R. Sigit, "Analisis Ketidakpastian Pengukuran Kekuatan Tarik Dan Elongasi Spesimen Ss304 Berbentuk Ring," *Urania : Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir*, vol. 27, no. 3, p. 133, Oct. 2021, doi: 10.17146/urania.2021.27.3.6567.
- [6] S. Rahardjo and W. T. Yulianto, "Analisa Tegangan Pada Pembentukan Komponengrommet Gasket Exhaust Sepeda Motor Melalui Deep Drawing," 2017.
- [7] H. Prawito and S. Sudiro, "Optimalisasi Performa Proses Deep Drawing Material SPCD Steel dengan Metode Finite Element dan Eksperimental," Oct. 2018.
- [8] N. K. E. Y. W. T. K. J. Rahmayetty, U. Sultan Ageng Tirtayasa, and J. Jend Sudirman Km, "Pengaruh Penambahan Pla Pada Pati Terplastisasi Gliserol Terhadap Sifat Mekanik Blend Film," 2018.
- [9] S. Winarso and D. Tugiman, "SIMULASI PROSES DEEP DRAWING CUP (BASKOM) PELAT JENIS STAINLESS STEEL 304 DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ABAQUS 6.9-3," *Jurnal e-Dinamis*, vol. 5, no. 1, 2013.
- [10] G. Priyotomo, I. N. G. P. Astawa, and F. Rokhmanto, "The Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties of J4 Series Stainless Steel Metals," *TEKNIK*, vol. 42, no. 2, pp. 117–122, Aug. 2021, doi: 10.14710/teknik.v42i2.36461.

- [11] F. Yasa Utama, H. Zakiyya, J. Teknik Mesin, F. Teknik, and U. Negeri Surabaya, "PENGARUH VARIASI ARAH SERAT KOMPOSIT BERPENGUAT HIBRIDA FIBERHYBRID TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN DENSITAS MATERIAL DALAM APLIKASI BODY PART MOBIL," 2016. 2, pp. 94–112, Jul. 2023, doi: 10.55180/aei.v1i2.706.
- [12] B. Bandanadjaja and D. Idamayanti, "Pengaruh Proses Normalising dan Tempering Ganda Terhadap Peningkatan Nilai Modulus of Toughness Baja AISI 4340," *TEKNIK*, vol. 41, no. 2, pp. 134–141, 2020, doi: 10.14710/teknik.v41n2.25959.
- [13] J. Setiawan, S. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir -BATAN Kawasan Puspipstek Serpong Gd, and T. Selatan, "Karakteristik Daktilitas Ss304 Yang Teroksidasi Pada Temperatur Tinggi," *Naskah Disetujui*, pp. 27–37, 2017.
- [14] R. Padmanabhan, M. C. Oliveira, J. L. Alves, and L. F. Menezes, "Influence of process parameters on the deep drawing of stainless steel," *Finite Elements in Analysis and Design*, vol. 43, no. 14, pp. 1062–1067, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.finel.2007.06.011.
- [15] P. Pada Pendekatan Kualitatif dan Kuantitatif Ardiansyah, Ms. Jailani, S. Negeri, B. Provinsi Jambi, and U. Sulthan Thaha Saifuddin Jambi, "Teknik Pengumpulan Data Dan Instrumen Penelitian Ilmiah," 2023. [Online]. Available: <http://ejournal.yayasanpendidikandzurriyatulquran.id/index.php/ihsan>
- [16] W. Abdiansyah, N. D. Dharmawati, and R. A. Renjani, "Analisa Pengaruh Metode Pencucian Nozzle Sludge Centrifuge terhadap Kehilangan Minyak pada Final Effluent," *AGRICULTURAL ENGINEERING INNOVATION JOURNAL*, vol. 1, no.