



## Pengaruh Pembentukan Pelat Baja Galvanil Ketebalan 0,8 mm Melalui Metode *Bead Rolled* Terhadap Kekakuan

Anandri Indra Adipura<sup>1</sup>, Erwanto<sup>2\*</sup>, Yuli Darta<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

\*Email : erwanto.polmanbabel@gmail.com

*Received: 19 November 2024 ; Received in revised form: 9 Januari 2025 ; Accepted: 13 Januari 2025*

### Abstract

*The manufacturing industry, particularly in the automotive sector, galvanized steel sheets are commonly used due to their strong durability and high rigidity, making them suitable as structural components for vehicle bodies. However, the rigidity of galvanized steel sheets can be affected when formed under cold conditions. Therefore, this study aims to investigate the impact of cold forming on the natural frequency of 0.8 mm thick galvanized steel sheets. Using the Vibroport 80 device, the sheets were formed into cross grooves and then clamped onto a test fixture as part of the testing procedure. Taguchi's method was employed to analyze the data. Based on the research results using Taguchi, the Signal-to-Noise (S/N) ratio for stiffness with the "Smaller Is Better" criterion revealed that the optimal groove profile, for maximum frequency response, had a width of 12 mm, depth of 3 mm, and a frequency value of 52.45 Hz. No significant process variables or parameters were found to have a substantial impact on the stiffness or natural frequency response of the formed sheet.*

**Keywords:** *galvanized plate; plate stiffness; natural frequency*

### Abstrak

Dalam industri manufaktur, khususnya pada sektor otomotif, pelat baja galvanil sering digunakan karena pelat ini memiliki daya tahan yang kuat, kekakuannya yang tinggi dan sering digunakan sebagai komponen struktural pada bodi mobil. Namun, kekakuan pelat baja galvanil dapat berpengaruh bila digunakan dalam kondisi dingin. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah ada Pengaruh Pembentukan Dingin dengan menggunakan pelat galvanil ketebalan 0,8 mm terhadap nilai frekuensi alamiahnya. Dengan menggunakan alat vibroport 80, pelat dibentuk menjadi alur silang dan kemudian dijepit pada meja uji penjepit sebagai bagian dari prosedur pengujian. Taguchi digunakan untuk menguji data yang diperoleh. berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dengan menggunakan Taguchi. Berdasarkan nilai S/N rasio kekakuan pelat alur "Smaller Is Better", analisis Taguchi terhadap faktor variasi proses optimum menghasilkan profil alur dengan lebar 12 mm, kedalaman 3 mm, dan nilai frekuensi 52,45 Hz. bersilangan dan tidak ada variabel atau parameter proses yang memiliki dampak nyata terhadap kekakuan pelat yang dihasilkan atau respons frekuensi alami.

**Kata kunci:** pelat galvanil; kekakuan pelat; frekuensi alami

### 1. PENDAHULUAN

Pembentukan dingin adalah proses pengolahan logam yang dilakukan pada suhu di bawah suhu rekristalisasi material. Hal ini bertujuan mengubah bentuk atau ukuran material tanpa memanaskannya, sehingga menghasilkan sifat mekanik yang lebih kuat, seperti kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi. Pembentukan dingin dilakukan pada pelat baja galvanil dengan ketebalan 0,8 mm menggunakan metode bead rolled, yang melibatkan pembentukan alur pada permukaan pelat dengan variasi ukuran dan bentuk trapesium untuk meningkatkan kekakuan material [1].

Kebutuhan industri pada industri otomotif dapat meningkatkan kekuatan dan kekakuan material yang digunakan dalam berbagai komponen kendaraan. Salah satu material yang banyak

dimanfaatkan adalah pelat baja galvanil, yang dikenal karena daya tahan dan kekakuannya yang tinggi. Pelat baja galvanil, terutama dengan ketebalan 0,8 mm, sering digunakan dalam proses pembentukan dingin karena kelebihan harganya yang murah dan kemudahan dalam pembentukannya. Pembentukan dingin, yang dilakukan dengan berbagai metode, termasuk metode bead rolled, dapat memengaruhi sifat mekanik dan struktural dari material tersebut [2].

*Bead roll* adalah metode pembentukan alur pada pelat. Proses ini dilakukan dengan menggulung pelat menggunakan sepasang mata gulung, lalu menggulungnya hingga terbentuk alur sesuai profil mata gulung. Proses ini umumnya digunakan dalam industri otomotif untuk membuat komponen khusus, penguatan panel, dan lain – lain [3].

Pelat baja galvanil banyak digunakan dalam desain bodi kendaraan, di mana kekakuan material berperan penting dalam mengurangi getaran dan kebisingan yang ditimbulkan oleh tekanan mekanis dalam kendaraan. Getaran yang terjadi selama operasi kendaraan dapat menurunkan kenyamanan dan kualitas kendaraan [4]. Sehingga penting untuk mengetahui bagaimana variasi ukuran dan bentuk alur pada pelat baja galvanil, seperti bentuk trapesium, dapat memengaruhi kekakuan dan respons frekuensi alami material tersebut. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa desain alur, termasuk bentuk trapesium, dapat meningkatkan frekuensi pelat hingga beberapa kali lipat dibandingkan dengan pelat datar, yang berpotensi mengurangi getaran dan kebisingan yang terjadi pada kendaraan [5].

Proses melakukan tinjauan pustaka melibatkan pengumpulan informasi dari beberapa sumber, antara lain buku, artikel dari jurnal akademik, surat kabar, dan sumber online. Tujuannya adalah untuk memahami proses melakukan studi frekuensi natural pada alur. Bila suatu sistem diberi gaya sehingga bergetar tanpa dorongan atau peredaman, maka frekuensi alaminya dapat ditemukan. Penting untuk menghitung frekuensi alami guna menghindari resonansi karena resonansi akan terjadi, yang dapat mengakibatkan kegagalan struktur. Anda dapat mengurangi frekuensi alami dengan menurunkan massa dan meningkatkan kekakuan [6].

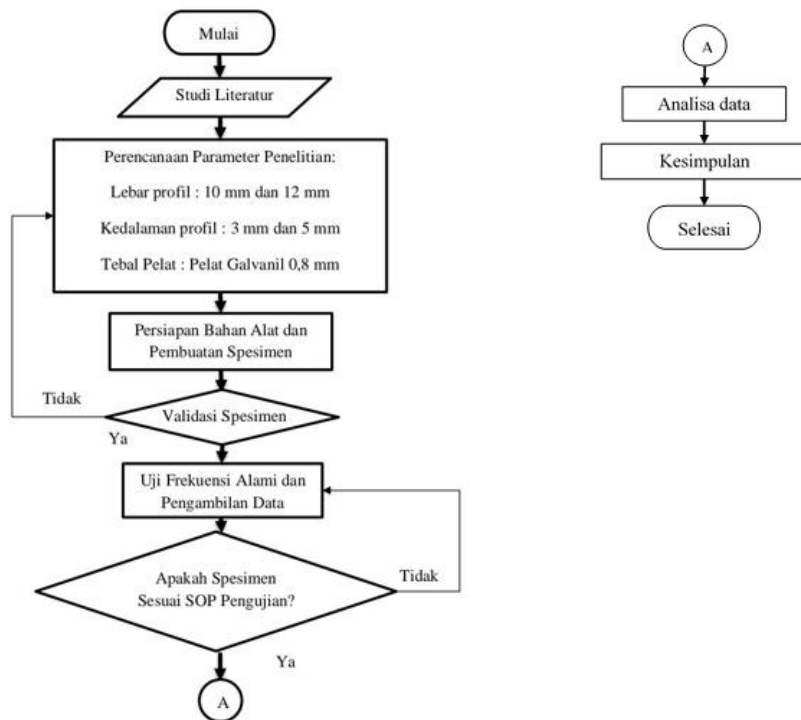
Untuk melaksanakan penelitian ini, Peneliti mencari dan menganalisis berbagai teori dan data ahli tentang frekuensi uji alami pada bead roll. Panel kendaraan sering kali memiliki berbagai bentuk alur, termasuk desain setengah lingkaran, trapesium, persegi panjang, dan segitiga. Bentuk alur trapesium paling efektif dalam bereaksi terhadap getaran [7]. Menciptakan alur pada panel dapat meningkatkan frekuensi pelat hingga 9,3 kali lipat dari pada pelat datar [8].

Meskipun telah banyak literatur mengenai penggunaan pelat baja galvanil pada industri otomotif, pengaruh pembentukan dingin dengan variasi ukuran dan bentuk trapesium terhadap kekakuan pelat masih belum banyak dibahas. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa pembentukan dingin dapat mempengaruhi kekakuan dan sifat mekanik lainnya, namun, belum ada penelitian yang secara spesifik mengkaji pengaruh pembentukan dingin pelat baja galvanil 0,8 mm menggunakan metode bead rolled dengan variasi ukuran dan bentuk trapesium terhadap kekakuan material tersebut.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengkaji pengaruh pembentukan dingin pelat baja menggunakan metode bead rolled terhadap kekakuan material dengan variasi ukuran dan bentuk alur trapesium. Judul penelitian ini yaitu “Pengaruh Pembentukan Pelat Baja Galvanil Ketebalan 0,8 mm Melalui Metode Bead Rolled Terhadap Kekakuan”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan pengaruh Pembentukan Dingin Pada Pelat Baja Lunak Galvanil Ketebalan 0,8 mm Melalui Metode Bead Rolled Terhadap Kekakuan Dengan Variasi Ukuran Dan Bentuk Trapesium.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode Penelitian merupakan cara atau proses bagaimana penelitian kekakuan pelat yang akan dilakukan agar penelitian sesuai dengan tujuan yang diinginkan. Proses penelitian mengikuti diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir

## 2.1 Studi Literatur

## 2.2 Desain Eksperimen Taguchi

Penelitian ini dimulai dengan perencanaan parameter penelitian yang mencakup variasi lebar dan kedalaman profil pada pelat baja galvanil. Lebar profil yang digunakan adalah 10 mm dan 12 mm, sementara kedalaman profil bervariasi antara 3 mm dan 5 mm. Pemilihan parameter ini didasarkan pada tujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi bentuk profil terhadap kekakuan pelat baja galvanil yang terbentuk melalui proses bead rolled. Ketebalan pelat yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,8 mm, karena ketebalan ini merupakan standar yang umum digunakan dalam industri otomotif dan diharapkan dapat memberikan gambaran yang representatif mengenai sifat mekanik pelat baja galvanil.

Tahap berikutnya adalah persiapan bahan dan alat untuk pembuatan spesimen. Bahan yang digunakan adalah pelat baja galvanil dengan ketebalan 0,8 mm yang telah dipilih karena sifatnya yang kuat dan tahan lama. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin bead rolling yang digunakan untuk membentuk profil pada pelat baja galvanil sesuai dengan ukuran dan kedalaman yang telah ditentukan sebelumnya. Tahap validasi spesimen dilakukan untuk memastikan bahwa spesimen yang dihasilkan sesuai dengan standar operasional prosedur (SOP) pengujian. Validasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap spesimen yang diuji memiliki kualitas dan ukuran yang konsisten serta bebas dari cacat yang dapat memengaruhi hasil pengujian. Spesimen yang telah divalidasi kemudian dipersiapkan untuk menjalani uji frekuensi alami, yang bertujuan untuk mengukur kekakuan dan respons frekuensi dari setiap spesimen yang telah dibentuk.

Uji frekuensi alami dilakukan dengan menggunakan alat vibroport 80, yang dapat mengukur frekuensi vibrasi pelat baja galvanil yang telah dibentuk. Pengambilan data dilakukan dengan seksama pada setiap variasi lebar dan kedalaman profil untuk memperoleh hasil yang akurat. Data yang diperoleh selama pengujian selanjutnya dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi ukuran dan bentuk profil terhadap kekakuan dan respons frekuensi alami pelat baja galvanil.

Strategi penelitian yang dapat mengurangi biaya dan memaksimalkan sumber daya sekaligus meningkatkan kualitas benda kerja adalah metode *Taguchi*. Tujuan dari prosedur metode *Taguchi* adalah untuk mengisolasi proses benda kerja dari variabel-variabel yang dapat menyebabkan gangguan, seperti modifikasi pada bahan, bentuk, atau proses pembuatan. Metode ini bisa dipastikan setiap bahan secara konsisten memberikan hasil yang stabil, produk berkualitas tinggi, dan bebas dari kebisingan. Pada eksperimen *Taguchi* memiliki tahapan utama yaitu perencanaan, pelaksanaan dan analisa.

Pelaksanaan eksperimen *Taguchi* menggunakan matriks *orthogonal* dengan mempertimbangkan jumlah faktor dan level, derajat kebebasan, dan matrik *orthogonal* [9].

Dalam penelitian ini yang menjadi variabel adalah kedalaman dan lebar profil alur; tingkat mengacu pada kombinasi faktor-faktor ini. Faktor adalah variabel yang perubahannya tidak bergantung pada variabel lain. Jumlah percobaan yang harus dilakukan dan jumlah data yang dapat diperoleh disebut derajat kebebasan. Persamaan tersebut dapat digunakan untuk menentukan derajat kebebasan.

$$\text{Derajat kebebasan} = \text{banyak faktor} \times (\text{banyak level}-1) \quad (1)$$

Langkah selanjutnya adalah memilih matriks ortogonal dengan mempertimbangkan derajat kebebasan, jumlah derajat kebebasan variabel proses, dan fakta bahwa terdapat dua derajat kebebasan total untuk komponen yang digunakan. Tabel 1 menampilkan variabel independen dan levelnya; Tabel 2 menampilkan matriks ortogonal; dan Tabel 3 menampilkan desain faktor penelitian untuk setiap parameter proses yang digunakan dalam produksi pelat *bead roll*.

Tabel 1. Variabel Bebas dan Level Penelitian

kode	Parameter Pembentukan <i>Bead Roll</i>	Level Penelitian	
		Level 1	Level 2
A	Lebar Profil Alur	10 mm	12 mm
B	Kedalaman Profil Alur	3 mm	5 mm

Tabel 2. Matrik Orthogonal Eksperimen

Matrik Othogonal $L_4(2^3)$			Replikasi (Hz)		
Eksperimen	A	B	1	2	3
1	1	1			
2	1	2			
3	2	1			
4	2	2			

Tabel 3. Desain Faktor Penelitian

Eksperimen	Lebar Profil Alur	Kedalaman Profil Alur
1	10 mm	3 mm
2	10 mm	5 mm
3	12 mm	3 mm
4	12 mm	5 mm

Untuk mengetahui karakteristik kualitas variabel proses yang optimal pada eksperimen Taguchi dapat menggunakan jenis rasio S/N yaitu *small is better* [10], untuk menghitung nilai rasio S/N dapat menggunakan persamaan :

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (2)$$

### 2.3 Bahan Penelitian

Tahap selanjutnya pada penelitian ini adalah membuat material pelat dengan ketebalan 0,8 mm dan dimensi 575 mm x 600 mm, seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pelat Galvanil

## 2.4 Alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan untuk membantu dalam proses penelitian ini yaitu:

### 2.4.1 Roda Pembentuk Alur (*Roller*)

Pada proses pembuatan cetakan *bead roll* sendiri, melalui proses pembubutan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Mesin Bubut

### 2.4.2 Cetakan *Bead Roll*

Proses permesinan menggunakan cetakan *bead roll* untuk membentuk alur menyilang pada pelat yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Cetakan *Bead Roll*

### 2.4.3 Mesin Frais

Mesin milling berfungsi sebagai alat untuk memutar alat potong yang digunakan untuk memotong pelat menjadi bentuk tertentu dengan menggunakan gerak putar primer. Mesin penggilingan ini juga menggunakan sistem *Control Numerik Computer (CNC)*, seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Mesin Frais

#### 2.4.4 Alat *Vibroport 80*

Uji frekuensi alami dilakukan pada sampel yang telah dibuat pembentukan *Bead Roll* dengan menggunakan alat *Vibroport 80* dapat dilihat pada Gambar 6.

Gambar 6. *Vibroport 80*

#### 2.4.5 Meja Uji Jepit

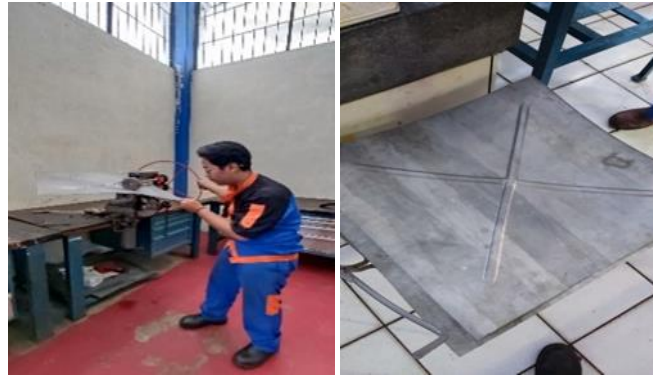
Saat melakukan pengujian, sampel dijepit dengan meja uji jepit, yang juga dikenal sebagai pengujian kondisi jepit-jepit, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Meja Uji Jepit

### 2.5 Proses Pembuatan Sampel

Spesimen pengujian dikerjakan di Laboratorium Teknik Mesin Polman Babel pada sektor Las Fabrikasi Logam atau Lafalo. Pengoperasian pengerolan dilakukan dengan menggunakan alat *bead roll* yang menggunakan silinder alur profil trapesium dengan diameter 10 mm dan 12 mm pada pelat galvanil yang telah dipotong dengan dimensi 575 mm x 600 mm dengan tebal pelat 0,8 mm. Proses pengerolan dan hasil pengerolan dapat dilihat pada Gambar 8.

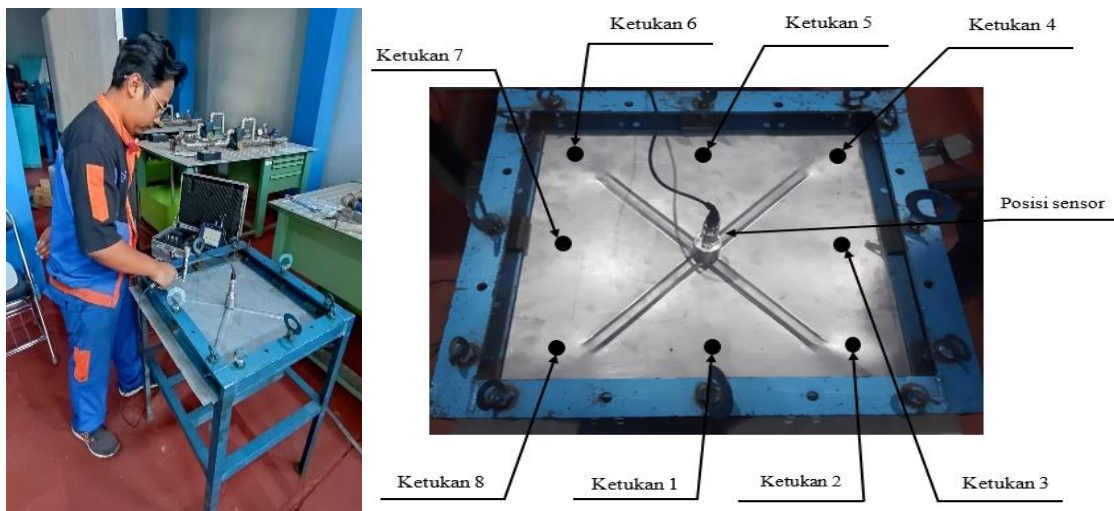


Gambar 8. Proses Pengerolan dan Hasil Pengerolan

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil Pengujian

Setelah terbentuk, benda uji melalui prosedur pengujian. Alat *vibroport* 80 digunakan untuk mengukur kekakuan pelat uji terhadap respons frekuensi alaminya dengan cara mengetuk permukaannya di delapan lokasi berbeda. Pelat uji ditempatkan ke dalam meja uji penjepit untuk prosedur pengujian sampel. Proses pengujian dan posisi pengetukan dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Proses Pengujian dan Posisi Pengetukan

Hasil uji dari pengerolan pelat yang dilakukan secara otomatis menggunakan alat uji *vibroport* 80 dan dilakukan tiga kali pengulangan, lalu dirata-ratakan dengan metode *Taguchi* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Frekuensi Alamiah

Faktor		Replikasi (Hz)			Rata – rata
Lebar Profil Alur	Kedalaman Profil Alur	1	2	3	
10 mm	3 mm	77,44	114,34	83,63	91,80
10 mm	5 mm	87,31	83,66	110,14	93,70
12 mm	3 mm	52,28	61,51	43,56	52,45
12 mm	5 mm	93,36	132,33	95,61	107,1
Rata-rata					86,26

Perhitungan dilakukan untuk memastikan kombinasi ideal parameter yang mempengaruhi kekakuan pelat terhadap frekuensi alamiah dan respon terhadap nilai rata-rata setelah mendapatkan data perhitungan dari hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Respon Rata-Rata Frekuensi Alamiah

Level	Lebar	Kedalaman
1	92,75	72,13
2	79,78	100,40
Delta	12,98	28,28
Rank	2	1

Berdasarkan Tabel 5 faktor yang sangat mempengaruhi nilai kekakuan pelat pada penelitian ini adalah kedalaman yang menempati peringkat pertama dan lebar menempati peringkat kedua.

### 3.2. Anova (*Analysis Of Variance*)

Pendekatan statistik (Anova) mengevaluasi atau mengukur kontribusi setiap faktor terhadap percobaan. Metode ini juga memungkinkan interpretasi data dan hasil yang dikumpulkan. Derajat kebebasan, jumlah kuadrat, mean kuadrat, dan rasio f adalah beberapa dari banyak perhitungan yang digunakan dalam analisis varians. Didapatkan persen kontribusi frekuensi alami pada Tabel 6.

Tabel 6. Persen Kontribusi Frekuensi Alami

Sumber	V	SS	MS	SS'	P(%)
A	1	168,35	168,35	-1496,65	-0,898%
B	1	799,48	799,48	-865,52	-0,519%
Error	1	697,17	697,17	-	0,418%
Total	3	1665	-	-	100%

Berdasarkan perhitungan pada tabel 6 nilai  $F_{Hitung}$  kedalaman profil memiliki nilai yang besar dibandingkan dengan lebar profil. Kemudian nilai  $F_{Hitung}$  dibandingkan dengan nilai  $F_{Tabel}$ . Jika  $F_{Hitung} < F_{Tabel}$  maka tidak ada dampak dari frekuensi natural. Jika  $F_{Tabel} > F_{Hitung}$  menunjukkan pengaruh frekuensi natural.

1. Faktor A (Lebar Profil)  $H_0$  : Tidak ada pengaruh frekuensi alamiah  $H_1$  : Ada pengaruh frekuensi alamiah Kesimpulan  $F_{Hitung} = 0,24 < F_{Tabel} (0,05;1;3) = 10,13$ , maka  $H_0$  diterima artinya tidak ada pengaruh lebar profil terhadap kekakuan pelat frekuensi alamiah.
2. Faktor B (Kedalaman Profil)  $H_0$  : Tidak ada pengaruh frekuensi alamiah  $H_1$  : Ada pengaruh frekuensi alamiah Kesimpulan  $F_{Hitung} = 1,14 < F_{Tabel} (0,05;1;3) = 10,13$  maka  $H_0$  diterima artinya tidak ada pengaruh kedalaman profil terhadap kekakuan pelat.

### 3.3 Perhitungan S/N Rasio

Kekakuan pelat bead roll untuk respon frekuensi alamiah akan ditentukan dari perhitungan S/N Ratio diatas. Kekakuan ini mempunyai sifat semakin kecil semakin baik, atau "Lebih Kecil Lebih Baik" seperti terlihat pada tabel 7.

Tabel 7. Persen Kontribusi Setiap Faktor

Variabel Proses			Frekuensi (Hz)			S/N
Eks	A	B	Pelat 1	Pelat 2	Pelat 3	
1	10 mm	3 mm	77,44	114,34	83,63	-39,38
2	10 mm	5 mm	87,31	83,66	110,14	-39,50
3	12 mm	3 mm	52,28	61,51	43,56	-34,47
4	12 mm	5 mm	93,36	132,33	95,61	-40,71
Rata - Rata						-38,51

Perhitungan berikut menunjukkan bagaimana nilai masing-masing elemen digabungkan untuk menghitung variasi nilai S/N rasio kekakuan pelat terhadap respon frekuensi alamiah. Tabel 8 berikut



menunjukkan hasil perhitungan rasio lebar profil dan kedalaman profil terhadap kekakuan plat berbentuk alur untuk frekuensi alamiah.

Tabel 8 Rata-rata S/N rasio

Level	Variabel Proses	
	Lebar Profil Alur	Kedalaman Profil Alur
1	-39,45	-36,93
2	-39,45	-36,93
Delta	1,85	3,17
Rangking	2	1

### 3.3. Analisis Varian S/N Rasio

Selanjutnya yaitu dengan menghitung persen kontribusi setiap faktor untuk nilai S/N rasio. Hasil persen kontribusi untuk nilai S/N rasio dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Persen Kontribusi S/N Rasio Setiap Faktor

Sumber	V	S	Ms	SS'	P(%)
A	1	3,41	3,41	-21,02	0,860%
B	1	10,11	10,11	-14,32	0,580%
Error	1	10,91	10,91	-	0,447%
Total	3	24,43	-	-	-

Tabel 9 menunjukkan bahwa faktor kedalaman memiliki nilai komputasi yang lebih besar dibandingkan faktor lebar profil, sebagaimana ditentukan oleh perhitungan anova yang disebutkan di atas. Nilai  $F_{Tabel}$  dan nilai  $F_{Hitung}$  kemudian dibandingkan. Jika  $F_{Hitung} < F_{Tabel}$ , artinya tidak ada pengaruh frekuensi alamiah. Jika  $F_{Tabel} > F_{Hitung}$ , artinya ada pengaruh frekuensi alamiah.

1. Faktor A (Lebar Profil)  $H_0$  : Tidak ada pengaruh frekuensi alamiah  $H_1$  : Ada pengaruh frekuensi alamiah. Kesimpulan  $F_{Hitung} = 0,31 < F_{Tabel} (0,05;1;3) = 10,13$ , maka  $H_0$  diterima artinya tidak ada pengaruh lebar profil terhadap kekakuan pelat frekuensi alamiah.
2. Faktor B (Kedalaman Profil)  $H_0$  : Tidak ada pengaruh frekuensi alamiah  $H_1$  : Ada pengaruh frekuensi alamiah. Kesimpulan  $F_{Hitung} = 0,92 < F_{Tabel} (0,05;1;3) = 10,13$ , maka  $H_0$  diterima artinya tidak ada pengaruh kedalaman profil terhadap kekakuan pelat.

## 4. SIMPULAN

Berdasarkan temuan penelitian yang telah dilakukan dan analisis yang telah dihitung, penelitian dengan metode *bead roll* dapat membuat pelat lebih kaku dibandingkan pelat datar tanpa proses pembentukan profil; Selain itu pengaruh proses pembentukan *bead roll* pada pelat galvanis dapat mereduksi frekuensi natural yang tinggi menjadi rendah. Namun analisis data menunjukkan bahwa nilai  $F_{Hitung}$  lebih kecil dari nilai  $F_{Tabel}$ , hal ini menunjukkan bahwa tidak ada variabel proses atau parameter penelitian yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap frekuensi alami pelat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suarsana. (2017). Ilmu Material Teknik. Universitas Udayana, 47–56.
- [2] Darensyah, M., Sukanto, S., & Erwanto, E. (2023). Pengaruh Pengerolan Pelat Kondisi Dingin Terhadap Kekakuan Pelat Pada Bak Mobil Pick Up. Jurnal Inovasi Teknologi Terapan, 1(1), 107–113. <https://doi.org/10.33504/jitt.v1i1.47>
- [3] Woodward Fab, "5 Tips & Tricks to Use a Bead Roller to Your Advantage in Sheet Metal Fabrication." Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.woodwardfab.com/blog/5-tips-tricks-to-use-a-bead-roller-to-your-advantage-in-sheet-metal-fabrication-2/>
- [4] Novandra, D. R., Tiyaasmihadi, T., & Hamzah, F. (2017). Rancang Bangun Roll Bending Machine With Hydraulic Assist. Rancang Bangun Roll Bending Machine With Hydraulic Assist, 168–174.

- 
- [5] Y. Qiao, Q. Huang dan T. Li, 2008, Effect of Stiffener on the Radiated Sound Loudness from Rectangular Plate, *Adv. Theor. Appl. Mech.*, Vol. 1, No. 8, 379-399.
  - [6] L. A. N. Wibawa, "Analisis Frekuensi Natural Rangka Main Landing Gear Pesawat UAV Menggunakan Ansys Workbench," *J. Mesin Nusantara*, vol. 5, no. 1, pp. 65–73, 2022, doi: 10.29407/jmn.v5i1.17580.
  - [7] Sukanto dan Sunardi, 2011, Pengaruh Bentuk Alur Pelat pada Panel Terhadap Perubahan Karakteristik Getarannya, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin X, Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya*), 1562-1565.
  - [8] Sunardi, et. all., 2010, Pengaruh Dimensi Alur Trapesium Pelat Terhadap Frekuensi Alaminya, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa*, 296-305.
  - [9] I. Soejanto, *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2009.
  - [10] N. Iriawan and S. P. Astuti, *Mengolah data statistik dengan mudah menggunakan minitab 14*, Edisi 1. Yogyakarta, 2006.