

# **KAJIAN TEORITIS METALURGI MEKANIK PENEKUKAN PROFIL MENJADI BERBENTUK KURVA DUA DIMENSI BERUBAH BERATURAN**

**Oleh :**

**Sigit Iswahyudi**

*Fakultas Teknik Universitas Tidar Magelang*

## **ABSTRACT**

*The preciseness of geometry in fulfilling the requirements of a design affects the quality of products. Material bending, one of processes to get the geometry, has some difficulties to reach the preciseness of the products. Spring back effect and bending mechanism limit the process. As start point to solve the problems, this article discusses the use of vector analysis to define the radius of curvature at each point in bending materials. The alteration of each point positions of the bending materials will be the base of the process controlling.*

*Key words: bending, profile, vector analysis, geometry preciseness*

## **A. PENDAHULUAN**

Profil merupakan produk hasil ekstrusi dan rol dari billet serta hasil pengelasan dari pelat. Profil dimanfaatkan untuk mendukung berbagai rancangan konstruksi. Untuk membangun konstruksi sesuai rancangan, profil diproses lebih lanjut, misalnya dipotong-potong, dibor dan ditekuk.

Penekukan profil dilakukan untuk memenuhi bentuk dan dimensi rancangan suatu konstruksi. Melalui proses ini, profil dapat dibuat menjadi berbagai bentuk geometri seperti sudut, lingkaran, parabola dan bentuk-bentuk kurva lain. Proses pembentukan harus dilakukan dengan teliti sehingga diperoleh geometri yang tepat.

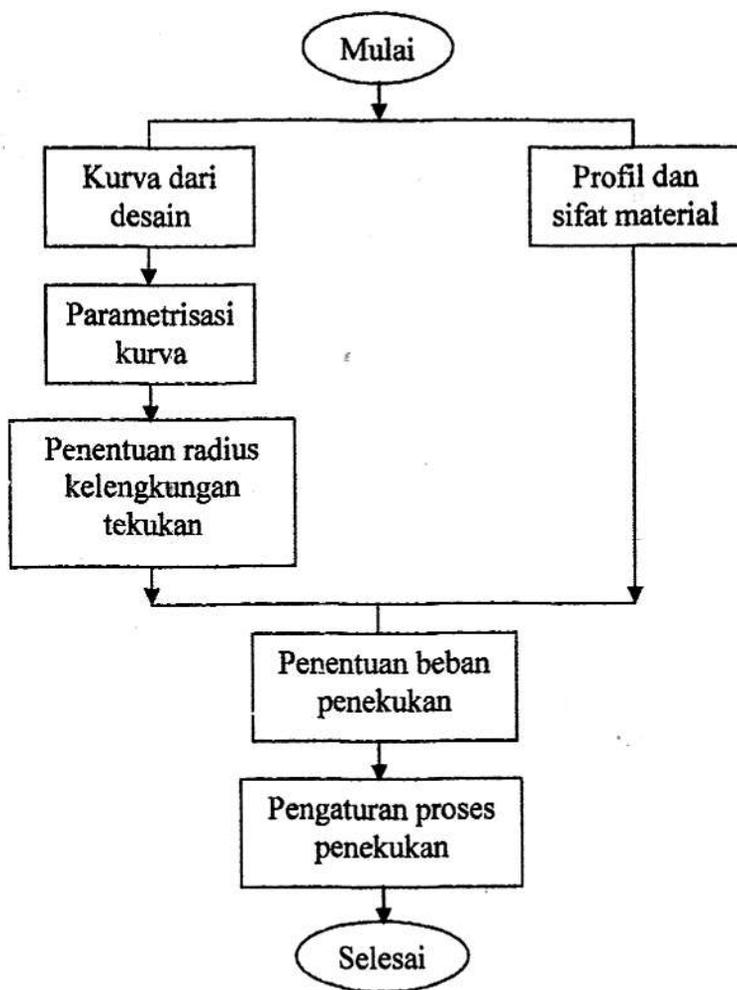
Ketepatan penekukan profil menjadi bentuk-bentuk kurva yang diinginkan dipengaruhi oleh prosesnya. Penekukan profil menjadi sudut dan lingkaran dapat dilakukan secara mudah. Apabila terjadi kesalahan dalam prosesnya, koreksi proses juga mudah dilakukan. Namun, untuk membentuk profil menjadi kurva berubah beraturan tidaklah mudah. Diperlukan pengetahuan yang memadai serta mesin yang dapat dikontrol secara baik untuk dapat memperoleh kontur kurva sesuai rancangan.

Sebagai langkah awal untuk mengatasi permasalahan di atas, di dalam tulisan ini akan dibahas tentang penekukan profil menjadi bentuk kurva dua dimensi yang memiliki kontur berubah beraturan. Dari pembahasan ini diharapkan diperoleh pengetahuan dasar sebagai pengantar untuk perancangan mesin penekuk yang mampu membentuk profil menjadi kurva sesuai rancangan.

## **B. METODOLOGI**

### **2.1 Cara Penelitian**

Langkah-langkah yang dilakukan untuk mendapatkan geometri penekukan sesuai dengan desain pada penelitian ini dibatasi hingga penentuan beban yang diperlukan selama proses penekukan. Adapun alur yang ditempuh seperti pada Gambar 1.



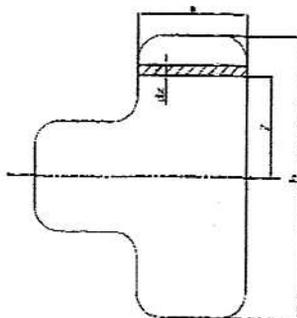
Gambar 1. Alur penekukan

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Penekukan

Profil ditekuk menjadi berbagai bentuk kurva yang tetap. Geometri yang diperoleh didapat dari penerapan beban yang melebihi tegangan elastis bahan sehingga terjadi perubahan plastis. Saat bahan ditekuk, momen  $M$  yang dialami dapat dinyatakan seperti pada Persamaan 1, di mana  $Y$  adalah tegangan luluh bahan. Keterangan geometri profil secara umum dapat diwakili Gambar 2.

$$M = 2Y \int_0^{h/2} w z dz \dots\dots\dots(1)$$



Gambar 2. Definisi geometri profil

Pada saat profil diberi beban, maka terjadi pelengkungan hingga profil memiliki jari-jari kelengkungan sebesar  $r$ . Setelah beban dilepas, jari-jari kelengkungan profil berubah menjadi  $r'$ . Profil akan memiliki momen sisa sebesar  $\Delta M$ . Pada Persamaan 2,  $E$  menyatakan modulus elastisitas bahan. Kemudian, efek *spring back* dinyatakan dengan Persamaan 3 (Hosford dan Caddell, 2006).

$$\Delta M = 2E \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{r'} \right) \int_0^{h/2} w z^2 dz \dots\dots\dots(2)$$

$$\left( \frac{1}{r} - \frac{1}{r'} \right) = \left( \frac{Y}{E} \right) \left( \frac{2Q}{h} \right) \dots\dots\dots(3)$$

$$Q = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^L \frac{1}{2} \rho \omega^2 r^2 dz}{\int_0^{2\pi} \int_0^L \frac{1}{2} \rho \omega^2 r^2 dz} \dots\dots\dots (4)$$

Distribusi tegangan sisa dinyatakan dengan Persamaan 5.

$$\sigma'_x = Y \left( 1 - \frac{2z}{h} \right) \dots\dots\dots (5)$$

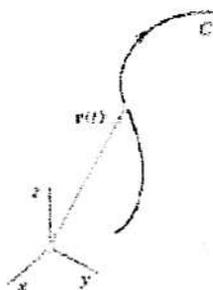
Gaya  $P_b$  yang dibutuhkan untuk penekukan diperkirakan menggunakan Persamaan 6 (Dieter, 1988). Dimana, L merupakan panjang kurva dengan jari-jari r.

$$P_b = \frac{E_0 L h^3}{2(1 + \nu/2)} \tan \frac{\alpha}{2} \dots\dots\dots (6)$$

### 2.2.2 Lengkungan kurva

Dalam geometri differensial, kurva C di dalam ruang (Gambar 3) dinyatakan dalam bentuk parametrik dengan parameter t menjadi:

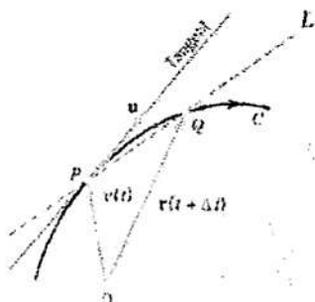
$$r(t) = [x(t), y(t), z(t)] = x(t)i - y(t)j - z(t)k \dots\dots\dots (7)$$



Gambar 3. Representasi parametrik suatu kurva (Kreyzig, 2006)

### 2.2.3 Singgungan pada suatu kurva

Garis singgung merupakan garis lurus yang menyentuh suatu kurva. Singgungan pada kurva C sederhana pada titik P dari C membatasi garis lurus L melewati P dan sebuah titik Q dari C di mana Q mendekati P sepanjang C (Gambar 4).



Gambar 4. Garis singgung pada kurva

### 2.2.4 Jari-jari kelengkungan

Jari-jari kelengkungan  $\rho$  pada suatu titik di dalam kurva dapat dinyatakan seperti pada Persamaan 8 (Thomas dan Finney, 1996).

$$\rho = \frac{|v|^3}{|v \times a|} \dots\dots\dots(8)$$

dimana  $v = dr/dt$  dan  $a = dv/dt$ .

## C. PEMBAHASAN

### 3.1 Parametrisasi fungsi kurva

Parametrisasi fungsi kurva dari bentuk konstruksi merupakan langkah pertama yang sangat penting untuk dapat menentukan perubahan radius tekukan pada proses pembentukan. Pada diskusi ini, kurva parabola dipilih sebagai contoh untuk pemanfaatan metode ini dengan alasan kurva ini banyak dibuat dalam konstruksi teknik, misalnya untuk antena parabola.

Secara umum, koordinat parabola di dalam bidang kartesian dapat dinyatakan sebagai  $4py = x^2$ . Dimana,  $x$  dan  $y$  merupakan posisi titik-titik parabola pada bidang kartesian terhadap sumbu vertikal dan horisontal. Persamaan parabola dapat ditulis dengan parameter  $t$  sebagai berikut:

$$r(t) = ti + \frac{t^2}{2p}j \dots\dots\dots (9)$$

sehingga jari-jari kelengkungan parabola pada setiap titik menjadi:

$$\rho = \frac{4p^2+t^2}{4p^2} \sqrt{4p^2+t^2} \dots\dots\dots (10)$$

### 3.2 Jari-jari penekukan

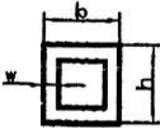
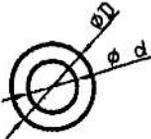
Nilai  $\rho$  merupakan nilai yang diharapkan dari rancangan, sehingga  $\rho$  sama dengan  $r'$  pada proses penekukan. Untuk mendapatkan harga tersebut, maka jari-jari penekukan pada setiap titik penekukan menjadi:

$$r' = \frac{\epsilon \cdot \rho}{2YQ_0 + \epsilon \rho} \dots\dots\dots (11)$$

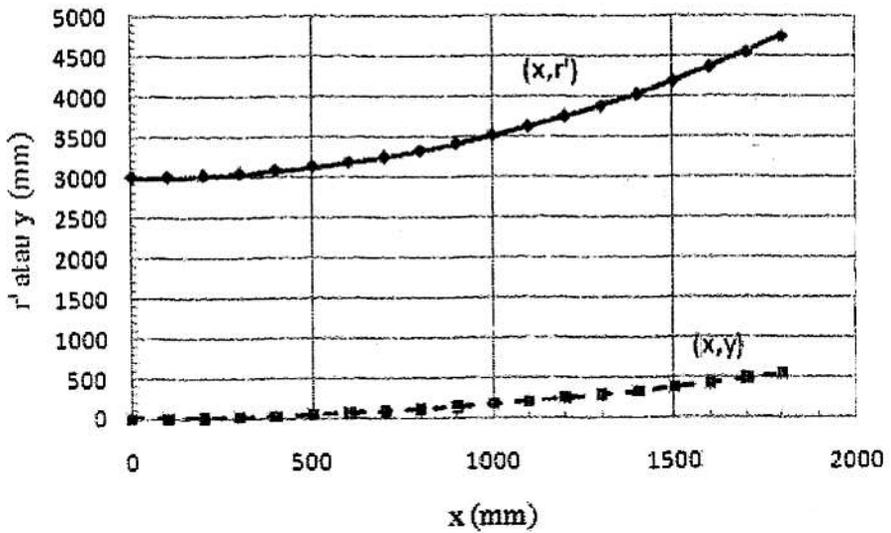
### 3.3 Penekukan Profil

Berbagai macam profil dihasilkan dari proses ekstrusi billet. Pada pembahasan ini, hasil ekstrusi diabaikan tegangan sisanya. Profil yang akan digunakan sebagai contoh untuk simulasi dibatasi pada profil simetris. Untuk profil simetri akan digunakan lingkaran dan bujur sangkar. Dimensi untuk masing-masing profil seperti pada Tabel 1. Profil akan ditekuk menjadi kurva berbentuk parabola dengan  $p = 1500$  mm dan panjang dengan koordinat  $x_{maksimum} = 1800$  mm. Perhitungan dilakukan untuk tiap perubahan nilai  $x$  sebesar 100 mm. Bahan profil dibuat dari aluminium dengan nilai  $E = 69$  GPa, dan  $Y = 40$  MPa (Ashby dan Jones, 2002).

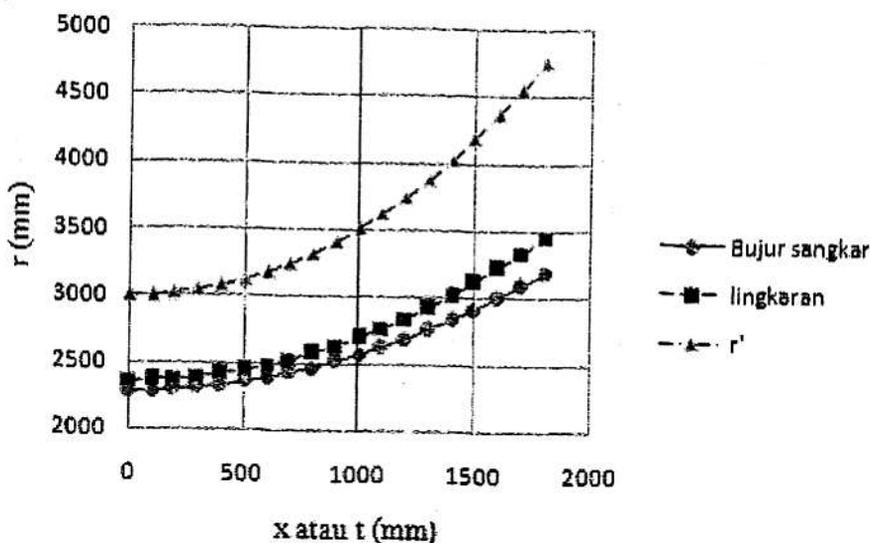
Tabel 1. Dimensi Profil

Profil	Dimensi (mm)	Q
	$b=15, h=15, w=3$	1,3511
	$\text{Ø}D = 15, \text{Ø}d=9$	1,5291

Jari-jari kelengkungan kurva untuk tiap posisi diperhitungkan menggunakan Persamaan 10. Dalam bentuk grafik, perubahan nilai jari-jari kelengkungan terhadap posisi  $x$  atau  $t$  seperti pada Gambar 5. Untuk mendapatkan kurva sesuai dengan Gambar 5, maka jari-jari profil saat dilakukan penekukan dihitung menggunakan Persamaan 11. Hasil perhitungan jari-jari yang diperlukan saat penekukan untuk masing-masing profil disampaikan dalam bentuk grafik pada Gambar 6. Jenis profil menentukan besarnya jari-jari saat proses penekukan meski besar jari-jari yang direncanakan sama dan bahan yang digunakan juga sama.



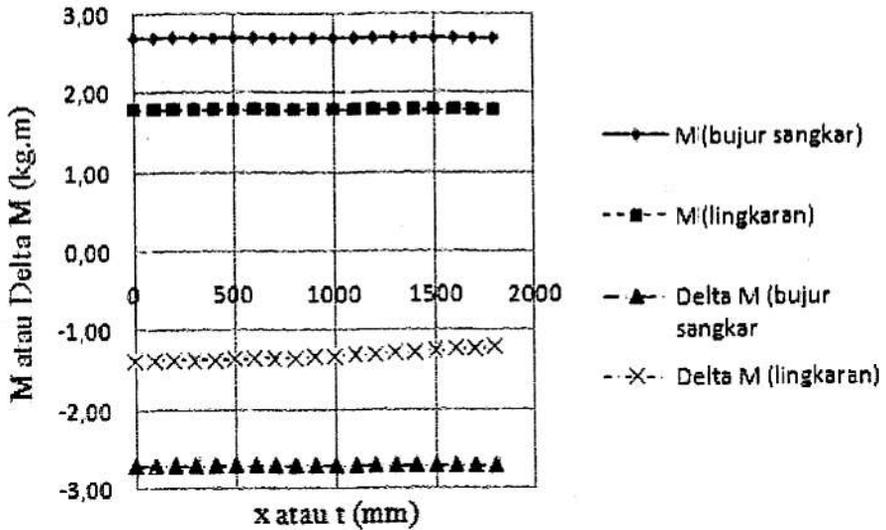
Gambar 5. Hubungan antara nilai  $x$  atau  $t$  dengan  $r'$  atau  $\rho$ .



Gambar 6. Jari-jari saat proses penekukan untuk profil bujur sangkar dan lingkaran

Besar beban yang dibutuhkan untuk proses penekukan diperhitungkan menggunakan Persamaan 1 atau 6. Berdasarkan persamaan 1 dan 2, besarnya momen yang diperlukan untuk proses penekukan dan momen sisa penekukan dihitung. Hasil perhitungan disampaikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 7.

Dari Gambar 7 terlihat bahwa profil berbentuk bujur sangkar memerlukan momen yang lebih besar dibandingkan profil berbentuk lingkaran. Dengan ketebalan yang sama, profil berbentuk bujur sangkar memerlukan momen 1,5 kali momen yang diperlukan oleh profil lingkaran. Momen sisa untuk profil bujur sangkar besarnya sama untuk semua nilai jari-jari (dalam kasus ini) sementara momen sisa untuk profil lingkaran semakin kecil dengan semakin besarnya jari-jari tekukan.



Gambar 7. Momen ( $M$ ) dan momen sisa ( $\Delta M$ ) penekukan profil bujur sangkar dan lingkaran

#### D. SIMPULAN

Analisis vektor sangat bermanfaat untuk menganalisa geometri kurva dari material yang ditekuk. Semakin tepat geometri yang diperoleh dari proses penekukan dibandingkan dengan geometri rancangan, semakin baik kualitas produk yang dihasilkan.

Proses penekukan pada profil dipengaruhi oleh bentuk profil. Bentuk profil yang berbeda memerlukan momen atau tenaga yang berbeda untuk membentuk kurva yang sama. Bentuk profil yang berbeda memberikan nilai momen sisa atau tegangan sisa yang berbeda.

Dengan analisa geometri yang tepat pada proses penekukan, maka akan diperoleh kebutuhan tenaga atau momen penekukan yang dibutuhkan dengan tepat. Dari sini, proses pengontrolan

mesin penekuk dapat direncanakan dengan lebih baik untuk dapat menghasilkan produk yang berkualitas.

### DAFTAR PUSTAKA

- Ashby, M. F., Jones, D. R. H.. 2002. *Engineering Materials 1: An Introduction to their Properties and Applications*. Edisi ke-2. Butterworth-Heinemann. Great Britain.
- Dieter, G. E. 1988. *Mechanical Metallurgy*. McGraw-Hill Book Company. London.
- Hosford, H.F., Caddell, R.M. 2001. *Metal Forming, Mechanis and Metallurgy*. Edisi ke-3. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Kreyzig, E. 2006. *Advanced Engineering Mathematics*, Edisi ke-9. John Wiley & Sons, Inc. Singapura.
- Thomas, G.B., Finney, R. L. 1998. *Calculus and Analytic Geometry*. Edisi ke-9. Addison-Wesley Publishing Company. Massachussetts.

## LAMPIRAN

### Hasil perhitungan-perhitungan

x atau t (mm)	y (mm)	rho (mm)	r (bujur sangkar, mm)	r (lingkaran, mm)	M (bujur sangkar, kg.m)	Delta M (bujur sangkar, kg.m)	M (lingkaran, kg.m)	Delta M (lingkaran, kg)
0	0,0000	3000	2284	2362	2,70	-2,7000	1,8	-1,3706
100	1,6667	3005	2287	2366	2,70	-2,7000	1,8	-1,3700
200	6,6667	3020	2296	2375	2,70	-2,7000	1,8	-1,3684
300	15,0000	3045	2310	2392	2,70	-2,7000	1,8	-1,3657
400	26,6667	3080	2331	2415	2,70	-2,7000	1,8	-1,3619
500	41,6667	3126	2357	2445	2,70	-2,7000	1,8	-1,3570
600	60,0000	3182	2388	2481	2,70	-2,7000	1,8	-1,3511
700	81,6667	3248	2426	2525	2,70	-2,7000	1,8	-1,3441
800	106,6667	3326	2468	2575	2,70	-2,7000	1,8	-1,3360
900	135,0000	3414	2517	2631	2,70	-2,7000	1,8	-1,3269
1000	166,6667	3514	2570	2695	2,70	-2,7000	1,8	-1,3168
1100	201,6667	3625	2629	2765	2,70	-2,7000	1,8	-1,3057
1200	240,0000	3748	2694	2843	2,70	-2,7000	1,8	-1,2936
1300	281,6667	3884	2763	2927	2,70	-2,7000	1,8	-1,2806
1400	326,6667	4032	2837	3019	2,70	-2,7000	1,8	-1,2667
1500	375,0000	4193	2916	3118	2,70	-2,7000	1,8	-1,2519
1600	426,6667	4367	2999	3224	2,70	-2,7000	1,8	-1,2362
1700	481,6667	4555	3087	3338	2,70	-2,7000	1,8	-1,2197
1800	540,0000	4756	3179	3459	2,70	-2,7000	1,8	-1,2025