

Optimasi Sudut *Die*, Rasio Reduksi, dan Panjang *Bearing* terhadap Tegangan Penarikan Kawat Aluminium dengan *Finite Element Method*

Alfian Wijaya¹, Sheila Tobing¹, Hadi Sutanto¹

¹Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya
Jalan Raya Cisauk, BSD City, Tangerang Selatan, Banten 15345

E-mail: alfianwijaya2903@gmail.com

ABSTRAK

Dalam proses penarikan kawat, geometri die menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi hasil dari proses penarikan. Dalam penelitian ini variasi sudut die, rasio reduksi, dan panjang bearing menjadi kasus yang akan diuji. Tujuan dari penelitian komputasi ini adalah melakukan analisis teoritis dan simulasi untuk menemukan pengaruh variasi geometri die pada tegangan penarikan kawat dengan metode Uniform-Deformation Energy Method dan finite element method. Material yang digunakan adalah aluminium-3003. ANSYS-WORKBENCH v18.2 digunakan untuk melakukan proses simulasi. Kawat ditarik pada rasio reduksi 0,1; 0,15; 0,2; 2,5; dan 0,3 dengan sudut die 6°, 8°, 8,5°, 9°, 9,5°, 10°, 15°. Panjang bearing yang diuji adalah 0,6 mm, 0,8 mm, 1 mm, 1,2 mm, 1,4 mm. Hasil dari percobaan menunjukkan sudut optimum pada aluminium-3003 untuk rasio reduksi 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; dan 0,3 adalah 8°, 8,5°, 10°, 10°, 15° sesuai dengan urutan.

Kata Kunci: penarikan kawat, metode elemen hingga, aluminium-3003

ABSTRACT

In the process of wire-drawing, die geometry is one of the factors that influence the result of the wire-drawing process. In this research the variation of die angle, reduction ratio, and bearing length are the case to be tested. The purpose of this numerical research is to perform theoretical and simulation analysis to find the influence of variation of die geometry on wire-drawing stress using Uniform-Deformation Energy Method and finite element method. Aluminium-3003 is used in this study. ANSYS-WORKBENCH v18.2 is used to perform the simulation process. Wire drawn at a reduction ratio of 0.1; 0.15; 0.2; 0.25; and 0.3 with die angle of 6°, 8°, 8.5°, 9°, 9.5°, 10°, 15°. The bearing length tested were 0.6 mm, 0.8 mm, 1 mm, 1.2 mm, 1.4 mm. The results of the experiment showed optimum angle on aluminium-3003 for a reduction ratio of 0.1; 0.15; 0.2; 0.25; and 0.3 is 8°, 8.5°, 10°, 10°, 15° respectively.

Keywords: wire-drawing, finite element method, aluminium-3003

1. PENDAHULUAN

Proses *wire drawing* atau proses penarikan kawat merupakan salah satu bagian dari proses manufaktur. Proses penarikan kawat sendiri adalah proses reduksi diameter suatu material dengan menariknya melewati satu atau beberapa cetakan atau *dies*. Penarikan kawat juga termasuk dalam *cold working*, yaitu proses pembentukan logam tanpa adanya perlakuan panas, dan biasanya dikerjakan pada temperatur kamar [1].

Aluminium-3003 adalah jenis aluminium yang paling umum pada dunia komersil, aluminium-3003 cocok digunakan sebagai material untuk *cold-working* karena mudah dibentuk. Aluminium-3003 memiliki tingkat ketahanan korosi dan kemampuan bentuk yang baik sehingga cocok untuk *cold-working* [2]. Aluminium-3003 merupakan

salah satu material yang digunakan sebagai material kabel karena sifatnya sebagai konduktor panas dan listrik yang baik, tahan korosi, mudah dibentuk, lebih ringan dibandingkan dengan baja dan tembaga, serta harga yang lebih murah.

Untuk mendapatkan hasil penarikan kawat ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan yaitu sifat dari material kawat, jenis pelumasan yang digunakan, dan geometri dari *die* [4]. Dalam penelitian ini variasi geometri *die* menjadi fokus utama dalam pengaruhnya terhadap tegangan penarikan kawat. Material kawat serta koefisien gesek yang digunakan sama setiap percobaan.

Metode untuk mendapatkan nilai tegangan yang terjadi saat proses penarikan kawat aluminium pada penelitian ini adalah metode analisis teoritis dan simulasi *Finite*

Element Method (FEM) tiga dimensi. Untuk analisis teoritis, *Uniform-Deformation Energy Method (UDEM)* digunakan untuk mencari rata-rata tegangan pada proses deformasi, dan program ANSYS-WORKBENCH v18.2 digunakan untuk melakukan proses simulasi *FEM*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Proses Deformasi

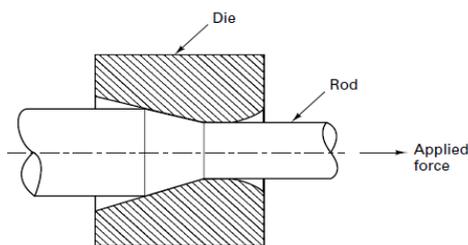
Proses deformasi atau proses pembentukan logam adalah proses yang bertujuan untuk mengubah bentuk suatu material dengan menggunakan *die*, Perubahan bentuk material tergantung dari geometri *die*.

Aluminium-3003

Aluminium-3003 adalah jenis aluminium paduan yang paling sering digunakan karena sifatnya yang lebih kuat dibandingkan aluminium-1100 dan memiliki tingkat kemampuan bentuk yang sama baiknya [3]. Aluminium dengan paduan manganese dapat diproses dengan semua jenis *cold working*, dan biasanya digunakan untuk penarikan kawat atau *wire-drawing*.

Drawing

Pengertian penarikan kawat atau *drawing* adalah proses pengurangan diameter batang atau kawat dengan diberikannya gaya tarik melewati sejumlah *die* yang memaksa kawat menjadi lebih kecil seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema proses *drawing* [1]

Untuk mendapatkan nilai tegangan penarikan kawat total, dibutuhkan nilai rata-rata tegangan aliran. Persamaan rata-rata tegangan aliran dalam proses deformasi dapat dilihat pada persamaan (1):

$$\bar{\sigma}_o = \frac{K \cdot \varepsilon^n}{n + 1} \quad (1)$$

Keterangan:

$\bar{\sigma}_o$ = Rata-rata tegangan alir

K = Koefisien kekuatan

n = Eksponen pengerasan regangan

ε = Regangan aktual

Regangan aktual dipengaruhi oleh nilai reduksi, persamaan (2) digunakan untuk mendapatkan nilai regangan aktual dan persamaan 3 untuk mendapatkan nilai reduksi. Persamaan 2 dan persamaan 3 adalah:

$$\varepsilon = \ln \frac{1}{1 - r} \quad (2)$$

$$r = 1 - \left(\frac{D_a}{D_b} \right)^2 \quad (3)$$

Keterangan:

r = Besar reduksi

D_a = Diameter kawat akhir

D_b = Diameter kawat awal

Untuk persamaan faktor deformasi berlebih (ϕ) atau *redundant deformation factor* dapat dilihat pada persamaan 4 dan persamaan faktor delta pada persamaan 5. α pada persamaan 5 adalah sudut *die* dalam radian.

$$\phi = \frac{\Delta}{6} + 1 \quad (4)$$

$$\Delta = \frac{\alpha}{r} [1 + (1 - r)^{0,5}]^2 \quad (5)$$

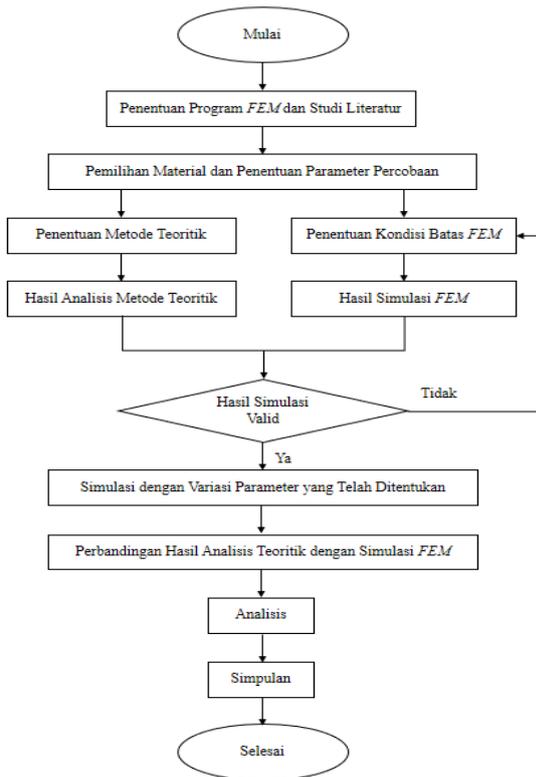
Sehingga persamaan tegangan penarikan kawat dengan adanya gaya gesek dan deformasi berlebih dapat dicari dengan persamaan 6:

$$\sigma_a = \bar{\sigma}_o \ln \left(\frac{A_b}{A_a} \right) (1 + B)\phi \quad (6)$$

3. METODE DAN HASIL

Metode penelitian yang digunakan pada analisis ini adalah metode analisis teoritis dan simulasi (*FEM*) *Finite Element Method* tiga dimensi. Analisis teoritis, *Uniform-Deformation Energy Method* digunakan untuk mencari rata-rata tegangan pada proses deformasi, dan program ANSYS-WORKBENCH v18.2 digunakan untuk melakukan proses simulasi *FEM*. Tahapan-tahapan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2. Material yang digunakan pada penelitian numerik ini adalah aluminium-3003, dengan komposisi 98,6% aluminium, 1,2% mangan, dan 0,12% tembaga. Jenis aluminium paduan ini tidak dapat diproses dengan perlakuan panas tetapi sangat baik untuk proses perlakuan dingin. Aluminium-3003 memiliki kemampuan bentuk yang sama dengan aluminium murni dan memiliki

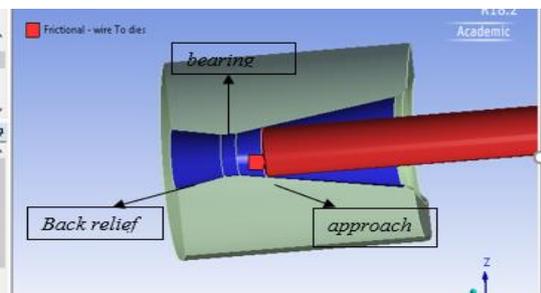
kekuatan 20% lebih kuat dari aluminium murni [3].



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Penentuan Kondisi Batas

Jenis kondisi kontak kawat dengan *die* adalah kontak gesek. *Target* ditunjukkan untuk bagian yang kaku dalam kasus ini *die*, dan *contact* ditunjukkan untuk bagian yang terdeformasi yaitu kawat (*wire*). Permukaan yang terkena kontak untuk bagian *die* adalah *approach*, *bearing*, dan *back relief*. Skema detail dapat dilihat pada Gambar 3.



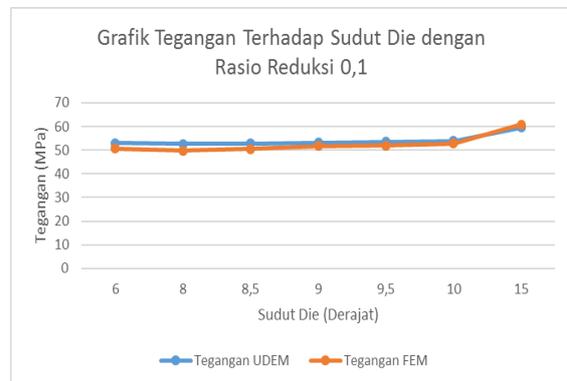
Gambar 3. Kondisi kontak kawat dengan *die*

Die merupakan bagian yang tidak mengalami deformasi, dan dianggap tidak mengalami perpindahan atau pergeseran, sehingga seluruh permukaan luar *die* diberi kondisi *fixed support* yang berarti tidak ada perpindahan dalam sumbu X, Y, dan Z. Berbeda dengan *die*, kawat adalah bagian

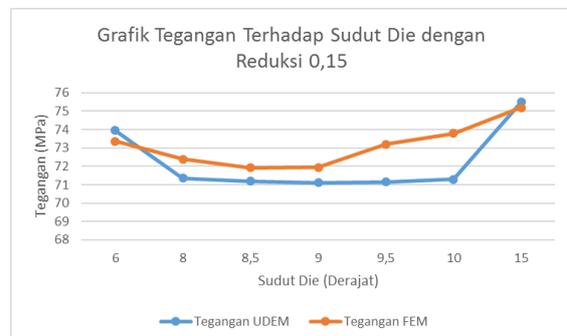
yang terdeformasi dan bagian yang bergerak atau berpindah. Kondisi batas pada *die* adalah *displacement* pada kedua ujung permukaan kawat. Kawat bergerak hanya pada sumbu X, karena pada kasus ini kawat ditarik ke arah X positif tanpa adanya pergerakan ke arah Y dan Z

Hasil Simulasi *Finite Element Method*

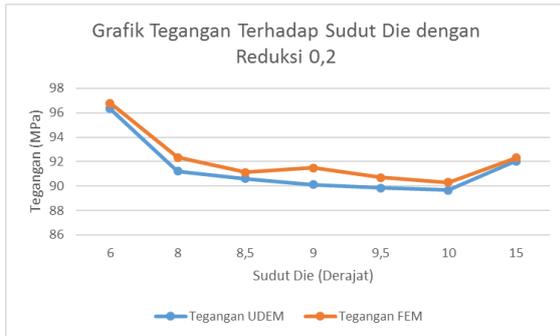
Simulasi dilakukan sebanyak 7 kali untuk setiap rasio reduksi, dengan variasi sudut 6°, 8°, 8.5°, 9°, 9.5°, 10°, dan 15°. Tegangan penarikan kawat hasil simulasi dilambangkan dengan *FEM* σ_a dan untuk tegangan penarikan kawat hasil perhitungan dilambangkan dengan *UDEM* σ_a . Perbandingan tegangan penarikan hasil simulasi dan perhitungan dapat dilihat pada dalam grafik perbandingan tegangan penarikan kawat *UDEM* dan *FEM*.



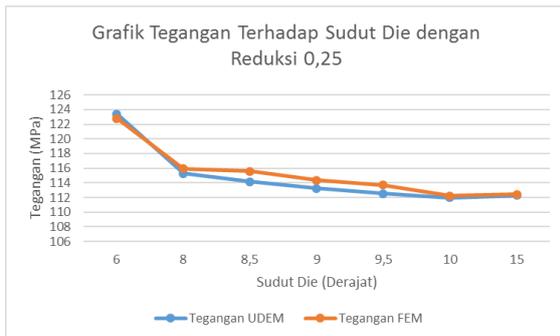
Gambar 4. Grafik perbandingan tegangan penarikan kawat *UDEM* dan *FEM* untuk rasio reduksi 0,1



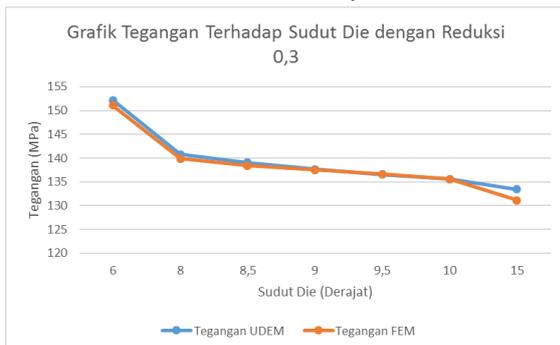
Gambar 5. Grafik perbandingan tegangan penarikan kawat *UDEM* dan *FEM* untuk rasio reduksi 0,15



Gambar 6. Grafik perbandingan tegangan penarikan kawat UDEM dan FEM untuk rasio reduksi 0,2

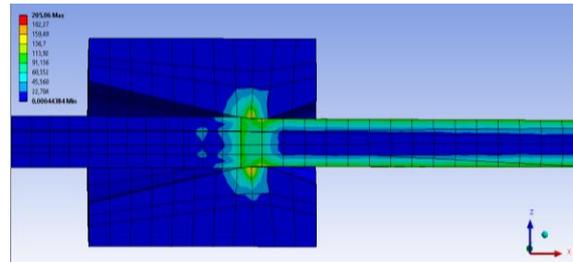


Gambar 7. Grafik perbandingan tegangan penarikan kawat UDEM dan FEM untuk rasio reduksi 0,25

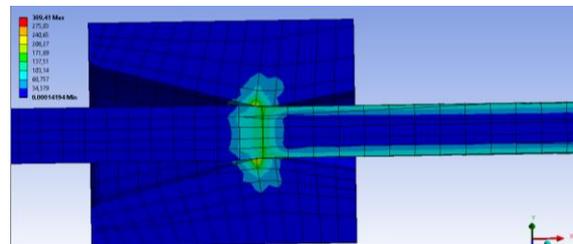


Gambar 8. Grafik perbandingan tegangan penarikan kawat UDEM dan FEM untuk rasio reduksi 0,3

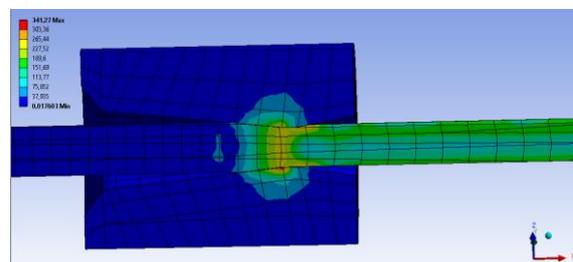
Dari seluruh perhitungan persentase kesalahan terbesar adalah 5,2829%, semakin besar rasio reduksinya semakin kecil persentase kesalahan. Hal tersebut disebabkan karena semakin rendah rasio reduksi yang digunakan semakin tidak seragam deformasi yang terjadi pada kawat atau disebut *nonuniform deformation*, dan semakin besar rasio reduksinya semakin besar pula tegangan penarikan kawat yang terjadi.



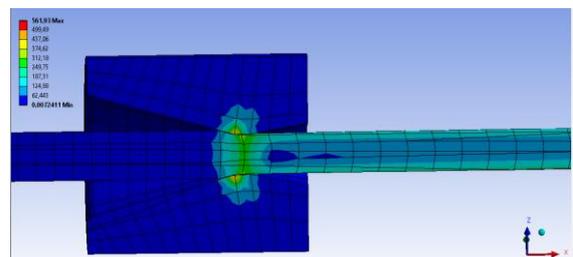
Gambar 9. Rasio reduksi 0,1 dengan sudut die 6°



Gambar 10. Rasio reduksi 0,1 dengan sudut die 15°



Gambar 11. Rasio reduksi 0,3 dengan sudut die 6°



Gambar 12. Rasio reduksi 0,3 dengan sudut die 15°

Gambar 9 sampai dengan Gambar 12 merupakan kontur tegangan hasil simulasi FEM. Sudut die 6° memiliki area kontak yang lebih besar dibandingkan dengan sudut die 15°, tetapi tegangan maksimal yang terjadi pada sudut die 15° nilainya lebih besar dibandingkan dengan sudut die 6°. Untuk rasio reduksi 0,3 tegangan yang terjadi dari proses penarikan lebih besar dibandingkan dengan rasio reduksi 0,1 tetapi untuk rasio reduksi 0,1 bagian tengah kawat kurang terdeformasi. Bagian dari kawat yang kurang terdeformasi

disebut *deform-less* area dan dapat menyebabkan *internal fracture* jika perbedaan tegangan antara *deform-less* area dengan permukaan yang terdeformasi terlalu besar. Hasil simulasi dengan ANSYS-WORKBENCH v18.2 menunjukkan bahwa rasio reduksi (0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3) memiliki sudut *die* optimal pada (8°, 8,5°, 10°, 10°, 15°) sesuai urutan

Gaya pada Penarikan Kawat

Gaya pada penarikan kawat, adalah gaya yang dibutuhkan untuk menarik sehingga kawat terdeformasi menjadi diameter yang lebih kecil. Gaya didapat dari persamaan 7 yaitu:

$$\sigma_a = \frac{F}{A_a} \quad (7)$$

Tabel 1. Hasil Tegangan UDEM dan FEM

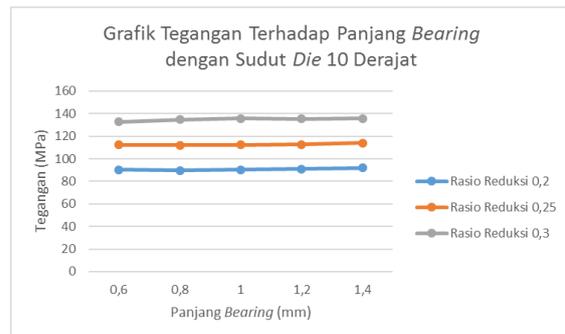
Kondisi	α (Derajat)	FEM σ_a (Mpa)	UDEM σ_a (Mpa)	Gaya FEM (N)	Gaya UDEM (N)
$r = 0,1$ $D_b = 3 \text{ mm}$ $D_a = 2,84 \text{ mm}$ $\sigma_o = 148,9154$ MPa	6	50,594	52,9535	320,4978	335,4446
	8	49,834	52,6135	315,6834	333,2909
	8,5	50,555	52,8273	320,2508	334,6452
	9	51,737	53,0833	327,7384	336,2671
	9,5	51,832	53,4358	328,3402	338,4995
$r = 0,15$ $D_b = 3 \text{ mm}$ $D_a = 2,76 \text{ mm}$ $\sigma_o = 158,9064$ MPa	10	52,836	53,8239	334,7002	340,9584
	15	60,767	59,5473	384,9407	377,2143
	6	73,358	73,9497	438,8936	442,4334
	8	72,399	71,3565	433,156	426,919
	8,5	71,925	71,1867	430,3201	425,9027
$r = 0,2$ $D_b = 3 \text{ mm}$ $D_a = 2,68 \text{ mm}$ $\sigma_o = 166,6435$ MPa	9	71,948	71,1051	430,4577	425,4145
	9,5	73,198	71,1613	437,9363	425,7511
	10	73,801	71,286	441,544	426,4968
	15	75,193	75,5072	449,8722	451,7519
	6	96,789	96,3342	545,9867	543,4215
$r = 0,25$ $D_b = 3 \text{ mm}$ $D_a = 2,59 \text{ mm}$ $\sigma_o = 173,1228$ MPa	8	92,343	91,2071	520,9069	514,4991
	8,5	91,108	90,599	513,9402	511,0689
	9	91,486	90,1301	516,0725	508,4239
	9,5	90,709	89,8435	511,6895	506,807
	10	90,301	89,6612	509,3879	505,7786
$r = 0,3$ $D_b = 3 \text{ mm}$ $D_a = 2,5 \text{ mm}$ $\sigma_o = 178,7964$ MPa	15	92,311	92,046	520,7264	519,2315
	6	122,78	123,379	646,9278	650,082
	8	115,91	115,263	610,7298	607,3231
	8,5	115,57	114,142	608,9383	601,4153
	9	114,35	113,221	602,5102	596,5596
$r = 0,3$ $D_b = 3 \text{ mm}$ $D_a = 2,5 \text{ mm}$ $\sigma_o = 178,7964$ MPa	9,5	113,69	112,535	599,0326	592,9462
	10	112,22	111,996	591,2872	590,1081
	15	112,43	112,293	592,3937	591,6737
	6	151,06	152,212	741,5082	747,1649
	8	139,89	140,799	686,678	691,1406
$r = 0,3$ $D_b = 3 \text{ mm}$ $D_a = 2,5 \text{ mm}$ $\sigma_o = 178,7964$ MPa	8,5	138,41	139,106	679,4132	682,8293
	9	137,53	137,678	675,0935	675,8222
	9,5	136,66	136,544	670,8229	670,2535
	10	135,6	135,603	665,6197	665,6359
	15	131,14	133,475	643,7269	655,1864

Dari Tabel 1, terlihat bahwa hasil perhitungan menunjukkan nilai dari gaya penarikan kawat sebanding dengan gaya penarikan kawat hasil simulasi. Dan karena tegangan berbanding lurus dengan gaya penarikan kawat, maka gaya yang paling kecil terjadi pada sudut optimum untuk masing-masing rasio reduksi.

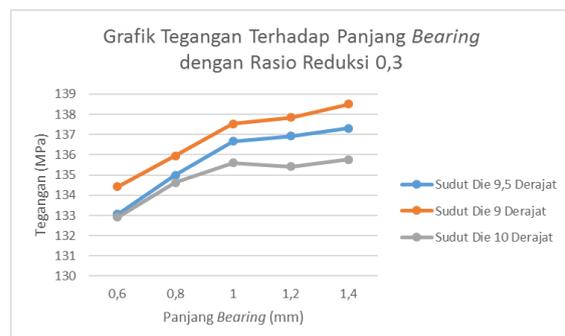
Pengaruh Panjang Bearing

Pada pengujian pengaruh panjang *bearing* terhadap tegangan penarikan kawat, diambil dua jenis kondisi yang diuji. Kondisi pertama adalah dengan menguji tiga variasi rasio reduksi dengan sudut *die* konstan, dan kondisi kedua adalah tiga variasi sudut *die* dengan rasio reduksi konstan.

Data untuk kondisi pertama yang diambil adalah kondisi dengan sudut *die* 10° dengan rasio reduksi 0,2; 0,25; dan 0,3. Data ini diambil karena memiliki persentase kesalahan yang paling kecil dibandingkan dengan variasi data yang lain.



Gambar 13. Grafik tegangan penarikan kawat dengan variasi panjang bearing untuk sudut 10°



Gambar 14. Grafik tegangan penarikan kawat dengan variasi panjang bearing untuk rasio reduksi 0,3

Exhaust Gas Analyzer

Tabel 2. Spesifikasi Exhaust Gas Analyzer

Item pengukuran	CO, HC, CO ₂ , O ₂ , λ (<i>air surplus rate</i>), AFR, NO _x (<i>optional</i>)			
Metode pengukuran	CO, HC, CO ₂ : NDIR <i>Method</i> O ₂ , NO _x : <i>Electrochemical Cell</i>			
Rentang pengukuran	CO	0.00 ~ 9.99%	HC	0 ~ 9999 ppm
Resolusi		0.01%		1 ppm
Rentang pengukuran	CO ₂	0.0 ~ 20.0%	O ₂	0.00 ~ 25.00%
Resolusi		0.1%		0.01%
Rentang pengukuran	Λ	0 ~ 2	NO _x	0 ~ 5000 ppm
Resolusi		0.001		1 ppm
Kuantitas sampel	4 ~ 6 L/min			

4. SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

1. Sudut optimum pada aluminium-3003 untuk rasio reduksi 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; dan 0,3 adalah 8°, 8,5°, 10°, 10°, 15° secara berurutan. Sudut optimum setiap reduksi dipengaruhi oleh nilai kotangen sudut *die* dan faktor deformasi berlebih.
2. Semakin besar sudut *die* yang digunakan semakin besar tegangan maksimal yang terjadi ketika proses deformasi, dan semakin kecil sudut *die* semakin besar area kontak yang terjadi saat proses deformasi.
3. Semakin besar rasio reduksi semakin besar tegangan penarikan kawat yang terjadi, tetapi pada rasio reduksi rendah dapat terjadi *nonuniform deformation* sehingga terjadi perbedaan tegangan pada tiap titik, dan jika perbedaannya terlalu besar dapat terjadi *internal fracture*.
4. Perbandingan hasil simulasi *finite element method* pada ANSYS WORKBENCH v18.2 dengan analisis teoritis *uniform deformation energy method* menunjukkan persentase kesalahan terbesar adalah 5,2829%.

Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah dengan melakukan proses uji eksperimental untuk melihat hasil mikro struktur serta kondisi permukaan kawat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Black, J. T., dan R. A. Kohser, *DeGarmos's Materials and Processes in Manufacturing*. John Wiley & Sons, 2008.
- [2] -----, *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. ASM Handbook, 1990. 2.
- [3] Davis, J. R., *Alloying: Understanding the Basic*, ASM International, 2001.
- [4] Kabayama, L. K., *The Influence of Die Geometry on Stress Distribution by Experimental and FEM Simulation on Electrolytic Copper Wiredrawing*. Material Research, 2009. 12.