



## Analisis Desain Cetakan Sederhana Bipolar Plate Pada Proses Pembentukan Superplastis

Ismi Choirotin<sup>1\*</sup>, Mochammad Basjir<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang  
Jl. MT. Haryono 193 Malang, 65144, Indonesia

\*Email Penulis: [ismichoirotin@gmail.com](mailto:ismichoirotin@gmail.com)

### INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 11/12/2018  
Naskah Direvisi 25/03/2019  
Naskah Disetujui 28/03/2019  
Naskah Online 29/03/2019

### ABSTRAK

*Bipolar plate* adalah salah satu komponen dari *fuel cell* yang memiliki peranan penting dalam menentukan performanya menghasilkan energi. Dalam proses fabrikasinya, masalah yang sering terjadi adalah ketidak sesuaian dimensi akhir benda kerja, dan kegagalan atau kerusakan pada *bipolar plate* tersebut. Tujuan penelitian ini adalah (i) untuk memperoleh desain optimum dari cetakan sederhana *bipolar plate* pada proses superplastis, (ii) Mendapatkan metode alternatif dalam memprediksi proses superplastis dengan metode finite element analysis (metode simulasi). Metode yang digunakan adalah metode simulasi dimana pemodelan dilakukan dengan memvariasikan *corner radius* dari cetakan, yaitu sebesar 0; 0,5; 1,0 dan 2,0 mm. Untuk memverifikasi kebenaran hasil simulasi, dilakukan perbandingan dimensi akhir kedalaman saluran hasil simulasi dengan hasil eksperimental. Metode ini diharapkan akan menjadi solusi alternatif yang lebih hemat dalam segi waktu dan biaya, jika dibandingkan dengan metode *trial-error*. Dari proses simulasi yang dilakukan, disimpulkan bahwa desain cetakan dengan *corner radius* 2,0 mm, menghasilkan benda kerja dengan kedalaman saluran maksimum yaitu sebesar 6,348 mm dan tanpa kerusakan.

**Kata kunci:** simulasi, *bipolar plate*, *corner radius*, *superplastis*

### 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi sudah menjadi masalah global bagi dunia. Ketergantungan dunia pada bahan bakar fosil tidak dapat dihindari, akan tetapi ketersediaan bahan bakar fosil ini tidak takterbatas dan semakin menipis karena proses pembentukannya yang membutuhkan waktu sangat panjang jika dibandingkan kecepatan manusia untuk mengeksploitasinya. Karena energi merupakan salah satu kebutuhan pokok manusia, maka perlu dipikirkan bagaimana cara menemukan sumber-sumber energi baru untuk mengatasi permasalahan energi. Saat ini banyak penelitian yang dilakukan yang berhubungan dengan upaya mengembangkan energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil.

Fuel cell menjadi salah satu sumber energi alternatif yang banyak di kembangkan karena karakteristiknya

yang efisien dan rendah emisi (Tawfik et al, 2007). *Bipolar plate* adalah salah satu komponen penting dari *fuel cell* yang sangat menentukan performa *fuel cell* dalam menghasilkan energi dan dari segi biaya, 35-45% biaya produksi *fuel cell* adalah untuk pembuatan *bipolar plate* (Tsuchiya, 2003). *Bipolar plate* ini merupakan komponen yang berperan sebagai media konduktif antara anoda dan katoda, sebagai struktur rangka padat dari *fuel cell*, sebagai media terjadinya reaksi kimia dan sebagai media perpindahan panas pada *fuel cell* (Karimi et al, 2012).

Masalah yang sering dihadapi dalam fabrikasi *bipolar plate* adalah ketidak sesuaian dimensi akhir yang berupa kedalaman saluran, serta kegagalan atau kerusakan dalam proses pembentukan. Salah satu penyebab kegagalan dan kerusakan *bipolar plate* ini adalah desain cetakan yang kurang optimal dan pemilihan proses fabrikasi yang kurang tepat. Pada proses *cold forming*,

pembentukan part yang rumit dan kompleks dari logam alumunium memiliki kelemahan yaitu kesulitan mendapatkan bentuk yang presisi karena adanya efek *springback*. Permasalahan ini dapat diselesaikan dengan proses pembentukan *warm forming* dan *hot forming* (Wang et al, 2016).

Kerusakan berupa crack pada *bipolar plate* sering kali terjadi pada daerah lekukannya (*rounded corner*), sehingga dibutuhkan desain *radius* dan sudut yang optimal pada cetakan untuk menghindari *crack* (Chen et al, 2012). Hasil investigasi pembuatan bipolar plate dengan proses superplastis, didapatkan maximum stress terjadi pada daerah *rounded corner* dan besar tegangannya (*stress*) tidak proporsional terhadap besar kelengkungannya (Kwon et al, 2012). Pada proses pembentukan superplastis, bentuk ujung (*corner*) dari cetakan menyebabkan benda kerja pada posisi tersebut mengalami pengurangan ketebalan maksimum dan berpotensi menimbulkan kerusakan pada hasil akhir (Choirotin et al, 2018)

Proses pembentukan superplastis, adalah salah satu proses *hot forming*, yang memanfaatkan reaksi superplastis dari suatu material. Beberapa keunggulan yang dimiliki proses ini adalah (Chandra et al, 1999):

1. Mampu menghasilkan bentuk benda kerja yang rumit.
2. Proses pembentukan selesai hanya dengan satu kali proses.
3. Tidak menimbulkan tegangan sisa dan efek *springback* pada hasil akhir benda kerja.
4. Tekanan yang dibutuhkan dalam proses pembentukan relatif kecil, karena harga tegangan alir deformasi plastisnya rendah.
5. Kualitas permukaan benda kerja bagus dan mampu menghasilkan benda kerja yang ringan.

Dalam prakteknya, penentuan parameter desain cetakan dan proses fabrikasi banyak dilakukan dengan metode *trial and error*, metode ini dianggap kurang efisien dalam segi waktu dan biaya. Metode lain yang bisa digunakan adalah pemodelan matematis dan *finite element method* atau metode simulasi komputer, dengan metode ini diharapkan bisa memprediksi proses aktual sehingga proses desain akan lebih efektif dan efisien.

Penelitian ini akan menganalisis desain cetakan sederhana dari *bipolar plate* pada proses superplastis dengan menggunakan metode simulasi komputer.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Benda kerja dan cetakan (*dies*)

Benda kerja yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah aluminum alloy 5052. Bentuk *bipolar plate* yang simetris memungkinkan pemodelan simulasi dilakukan dengan bentuk cetakan sederhana, yaitu dengan memodelkan dua saluran untuk mewakili kondisi area tepi dan tengah dari *bipolar plate*. Dengan kondisi tersebut, benda kerja dimodelkan dengan panjang 26 mm, lebar 5 mm dan ketebalan 0,5 mm.

Komposisi kimia dan mechanical properties dari AA5052 seperti yang ditunjukkan pada tabel.1 dan tabel 2

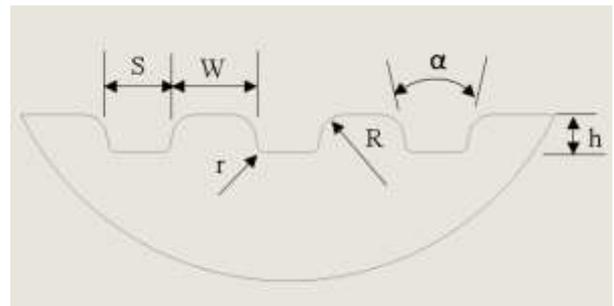
Tabel 1. Komposisi Kimia AA5052

Komponen	Komposisi
Mg	2,2 – 2,8
Mn	< 0,1
Cu	< 0,1
Cr	0,15 – 0,35
Zn	0,10
Si	< 0,25
Fe	< 0,4
Other	< 0,15
Al	RE

Tabel 2. Mechanical Properties AA5052

Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Fatigue Strength (N/mm <sup>2</sup> )
260	215	10	125

Material dari cetakan (*dies*) adalah baja AISI-H13. Dimensi dari cetakan (*dies*) ditunjukkan oleh Gambar 1, dimana untuk memperoleh hasil yang optimum *corner radius* (*outer radius*) akan divariasikan seperti pada Tabel 3.



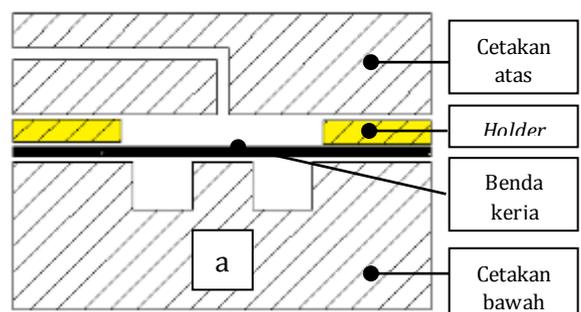
Gambar 1. Dimensi dari cetakan (*dies*)

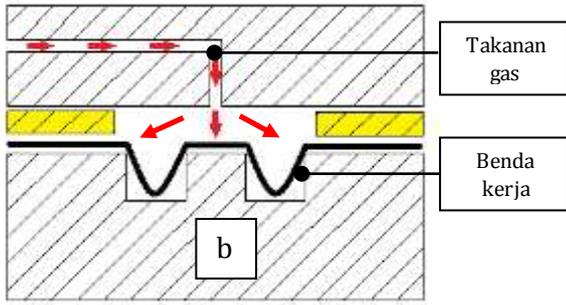
Tabel 3. Parameter input di dimensi cetakan (*dies*)

Keterangan	Simbol	Dimensi
Lebar channel	W	12 mm
	S	8 mm
Depth of Channel	h	7 mm
Outer Radius	R	1° ; 0,5° ; 1,0° ; 2,0°
Inner Radius	r	1°
Draft Angel	α	20°

### 2.2 Proses pembentukan superplastis

Proses pembentukan superplastis dilakukan dengan menekan logam yang telah dipanaskan dari salah satu sisinya, sehingga logam memenuhi cetakan dan berbentuk sesuai dengan profil cetakan.





Gambar 2. Skema proses pembentukan superplastis. (a) kondisi awal proses, (b) kondisi setelah benda kerja diberi tekanan dan memenuhi cetakan.

Skema proses pembentukan superplastis ini seperti yang diperlihatkan Gambar 2. Benda kerja yang diletakkan diantara dua cetakan dan dipegang oleh blank holder, dipanaskan terlebih dahulu sampai temperatur 450 °C. Benda kerja yang berupa lembaran logam diberi tekanan sebesar 1 MPa dari saluran yang berada pada cetakan bagian atas, sehingga benda kerja mengisi cetakan bawah.

### 2.3 Setting parameter simulasi

Simulasi dari proses pembentukan bipolar plate ini dilakukan dengan menggunakan program ANSYS Academic 18.0. Simulasi proses pembentukan superplastis ini dilakukan pada temperature 450 °C, dan tekanan 1 MPa. Benda kerja dimodelkan sebagai material sensitive rate power law, dimana pada temperature tinggi pemodelannya akan mengikuti persamaan power law sebagai berikut (Altan et al, 1983):

$$\sigma = k\varepsilon^n \dot{\varepsilon}^m \tag{1}$$

Dimana:

- $\sigma$  = Tegangan alir
- $\varepsilon$  = Regangan efektif
- $\dot{\varepsilon}$  = effective strain rate
- $k$  = material constant
- $n$  = strain-hardening exponent
- $m$  = strain rate sensitivity exponent

Cetakan dimodelkan sebagai benda rigid, sedangkan tipe elemen dari cetakan dan benda kerja dimodelkan sebagai SHELL 163. Parameter simulasi dari cetakan dan benda kerja disetting seperti yang terlihat pada Tabel 4.

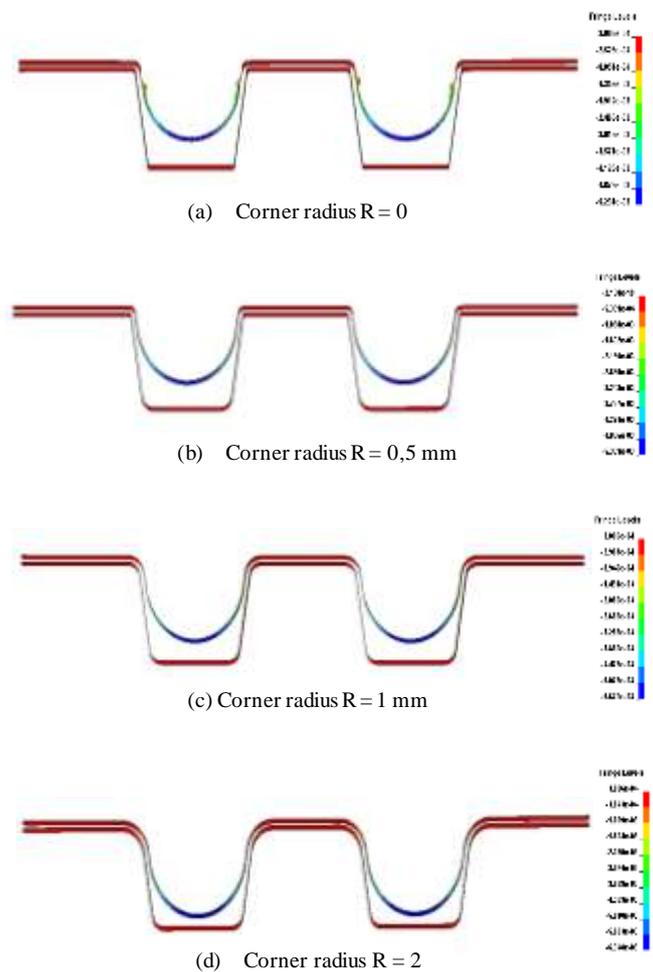
Tabel 4. Parameter input proses simulasi

Tabel 4. Parameter input proses simulasi		
<b>Cetakan</b>	Densitas [kg/m <sup>3</sup> ]	7860
	Modulus elastisitas [GPa]	207
	Poisson Ratio	0,3
<b>Benda kerja</b>	Densitas [kg/m <sup>3</sup> ]	2599,52
	Modulus elastisitas [GPa]	16,87
	Konstanta material [MPa]	44,33
	Strain rate sensitivity exponent	0,28

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kebenaran dari proses simulasi diverifikasi dengan membandingkan dimensi akhir hasil simulasi bipolar plate dengan hasil eksperimental pembentukan bipolar plate proses proses pembentukan superplastis. Perbandingan hasil simulasi dengan hasil eksperimental dilakukan dalam kondisi tanpa corner radius (R = 0 mm), yang menunjukkan nilai tingkat kesalahan rata-rata adalah sebesar 2,3%, sehingga dapat disimpulkan tidak ada perbedaan signifikan antara hasil simulasi dengan hasil eksperimental.

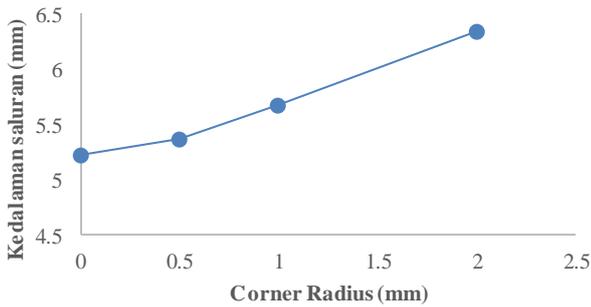
Gambar 3, menunjukkan hasil simulasi proses pembentukan superplastis bipolar plate dengan variasi corner radius sebesar 0 – 2 mm.



Gambar 3. Hasil simulasi proses pembentukan bipolar plate.

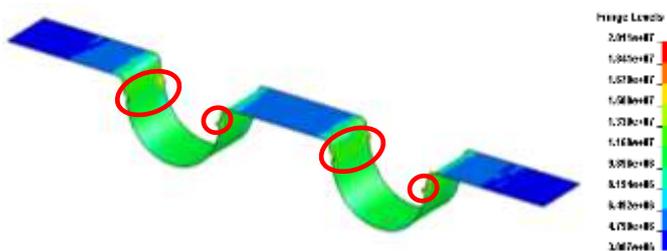
Dari proses simulasi didapatkan data kedalaman saluran pada variasi corner radius seperti ditunjukkan Gambar 4. Gambar tersebut, memperlihatkan bahwa kedalaman saluran (channel) bipolar plate yang dihasilkan oleh proses pembentukan superplastis akan semakin meningkat dengan meningkatnya corner radius cetakan. Dengan memvariasikan corner radius sebesar 0 – 2mm, didapatkan kedalaman saluran minimum

terjadi pada cetakan tanpa *corner radius* ( $R = 0\text{mm}$ ), yaitu sebesar 5,231mm.



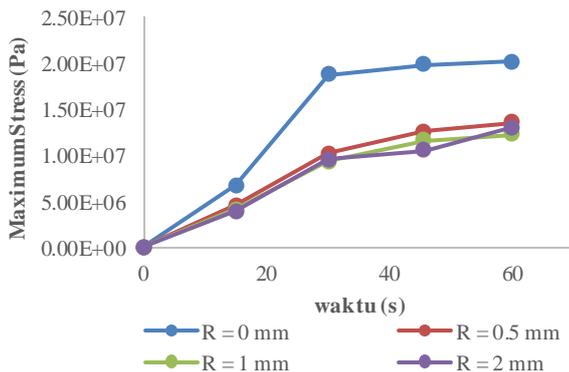
Gambar 4. Grafik pengaruh besar *corner radius* cetakan terhadap kedalaman saluran

Kedalaman saluran maksimum dicapai pada *corner radius* 2 mm, yaitu sebesar 6,348mm. Semakin besar *corner radius*, maka kemampuan alir material kedalam cetakan akan semakin meningkat, sehingga hasil akhir kedalaman saluran *bipolar plate* juga meningkat. Peningkatan kedalaman saluran dari *bipolar plate* akan meningkatkan harga *aspect ratio* (perbandingan antara lebar dan kedalaman saluran) dimana besar harga *aspect ratio* ini akan menentukan performa dari bipolar plate.



Gambar 5. Kerusakan pada bipolar plate, hasil simulasi tanpa *corner radius* ( $R = 0\text{ mm}$ )

Pada kondisi cetakan (*dies*) tanpa *corner radius*, hasil simulasi menunjukkan kerusakan pada *bipolar plate* yang berupa *wrinkle* (kerut) dan sobek, seperti yang terlihat pada Gambar 5. Kerusakan ini terjadi karena pada proses pembentukan superplastis, nilai tegangan alir material akan meningkat seiring dengan peningkatan *strain rate*. Tanpa adanya *corner radius* aliran material kedalam cetakan akan terhambat sehingga menimbulkan tegangan yang besar pada benda



kerja.

Gambar 6. Grafik hubungan variasi *corner radius* terhadap besar tegangan maksimum pada benda kerja.

Nilai tegangan maksimum yang disebabkan bentuk *corner* menyebabkan kerusakan pada benda kerja. Nilai tegangan maksimum ini mengalami penurunan dengan adanya *corner radius* pada cetakan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Pada Grafik tersebut terlihat dengan bertambahnya nilai *corner radius* dari cetakan, yaitu sebesar 0,5; 1,0 dan 2,0 mm, nilai tegangan maksimum dari benda kerja mengalami penurunan signifikan. Tidak terdapat perbedaan signifikan dari harga tegangan maksimum pada simulasi dengan *corner radius* 1,0 mm dan 2,0 mm, bahkan nilai tegangan maksimum dari *corner radius* 2,0 mm cenderung lebih besar dari *corner radius* 1,0 mm, akan tetapi benda kerja dengan *radius corner* cetakan 2,0 mm memiliki dimensi akhir lebih baik. Simulasi proses superplastis dengan *corner radius* 1,0 mm menunjukkan dimensi akhir berupa kedalaman saluran sebesar 5,672 mm, sedangkan variasi *corner radius* 2,0 mm dapat menghasilkan kedalaman saluran sebesar 6,348 mm.

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. *Bipolar plate* dengan dimensi akhir terbaik dihasilkan oleh cetakan dengan *corner radius* terbesar.
2. Hasil simulasi proses pembentukan dengan cetakan tanpa *corner radius* menghasilkan kerusakan (cacat) pada hasil akhir *bipolar plate*.
3. Metode simulasi komputer dapat digunakan sebagai metode alternatif untuk mendesain dan menganalisis proses pembentukan superplastis.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

Tawfik, H. Hung, Y. Mahajan, D. 2007. Metal bipolar plates for PEM fuel cell—A review. *Journal of Power Sources*. 163 (2007) 755–767

Tsuchiya, H. Kobayashi, O. 2004. Mass production cost of PEM fuel cell by learning curve. *International Journal of Hydrogen Energy*. 29 (2004) 985 – 990

Karimi, S. Fraser, N. Roberts, B. Foulkes, R. 2012. A Review of Metallic Bipolar Plates for Proton Exchange Membrane Fuel Cells: Materials and Fabrication Methods. *Advances in Materials Science and Engineering*. Vol.2012:22

Wang, A. Zhong, K. Fakir, E.O. Liu, J. Sun, C. Wang, L. Lin, J. Dean, T.A. 2016. Springback analysis of AA5754 after hot stamping: experiments and FE modelling. *International Journal Adv Manufacturing Technology*. 89:1339-1352

Chen, T.C dan Ye, J.M. 2012. Analysis of Stainless Steel Bipolar Plates Micro-Stamping Processes. (*Electrical Review*), ISSN 0033-2097, R. 88 NR 9b/2012

Kwon, H.J. Jeon, Y.P dan Kang, C.G. 2012. Die Design of Aluminum Bipolar Plate Fabrication by Stamping Process and Its Investigation. *Advanced Materials Research*. Vol. 445 (2012) pp 108-113

Choiretin, I dan Choiron, M.A. 2018. Defect Prediction at the Superplastic Forming Process of the Bipolar Plate by Simulation. *Journal of Energy, Mechanical, Material, and Manufacturing Engineering*. Vol. 3, No. 1 (2018) pp 49-54

T. Altan, S.I. Oh, H.L. Gegel, *Metal forming: fundamentals and applications*, American Society for Metals, 1983.

