

## ANALISA KOMPARASI PERILAKU DEFLEKSI BIMETAL CU - NI SECARA EKSPERIMENTAL DAN SIMULASI

\*Teguh Dwi Nugroho<sup>1</sup>, Susilo Adi Widyanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: gamacahya@gmail.com

### ABSTRAK

Pengaturan perilaku fisis dan mekanis suatu produk semakin diperlukan untuk meningkatkan aspek ekonomis dan unjuk kerjanya. Salah satu teknik aplikatif yang dapat dikerjakan adalah penggabungan material penyusun suatu produk dengan variasi jenis maupun posisinya. Penelitian ini bertujuan memodelkan dan membandingkan hasil simulasi FEM (*Finite Element Methode*) dengan pengujian secara eksperimental produk bimetal. Pemodelan bimetal dengan memvariasikan posisi kombinasi blok Cu-Ni melalui lima model. Yakni model posisi Cu-Ni vertikal, model kombinasi panjang blok Cu-Ni, dan model variasi potongan diagonal blok Cu-Ni dengan tiga variasi panjang potongan diagonal yang berbeda. Simulasi menggunakan *Finite Element Method* (FEM) diawali dengan pembuatan geometri, pemberian kondisi batas, memasukkan sifat-sifat material, dan pembebanan. Kemudian setelah simulasi dijalankan maka akan diperoleh hasil simulasi yang berupa defleksi dan sudut puntir, setelah didapat nilai defleksi dan sudut puntir secara simulasi maka proses berikut dengan melakukan pengujian material bimetal secara eksperimen, pada proses ini material bimetal dipanaskan dengan panas api dari gelas piala (busen), dan juga memvariasikan tiga posisi pemanasan material, yaitu dengan menggunakan dua pemanas (depan - belakang), satu pemanas didepan, dan satu pemanas dibelakang. Besarnya defleksi dan sudut puntir dipengaruhi oleh: pengaruh tebal, lebar, dan panjang Cu-Ni, variasi posisi blok Cu-Ni, dan temperatur. Pengembangan penelitian ini selanjutnya dapat digunakan sebagai dasar pengembangan produk-produk *smart material*, melalui proses *Multi Material Deposition Indirect Sintering* (MMD-Is) yang menggunakan bahan baku serbuk sebagai material produk.

**Kata kunci:** bimetal, termal, FEM, ANSYS.

### ABSTRACT

*The setting of physical and mechanical behavior of a product is increasingly necessary to improve its performance and economical aspects. One of the applicative techniques that can be done is applicable merger constituent material of a product with variations in type and position. This research aims to give an example and compare between the simulation results of FEM (Finite Element Methode) with experimental testing of bimetal products. This bimetal modeling modifies the combination of position of Cu-Ni alliance by through five models; which are Cu-Ni vertical position model, long combination of Cu-Ni alliance model and variable diagonal Cu-Ni model by three long diagonal variables in different pieces. Simulation using FEM (Finite Element Method) starts with establishment of geometry, provision of boundary conditions, incorporation of the material features, and assessment. Then, after the simulation works on, it will be obtained the simulation result have the shape of deflection of torsional angle. After we have the deflection grade and torsion angle in simulation, the next process is making the bimetal material testing experimentally. On this process, bimetal material heated by fire from the busen, and they modify three position of material heating, which are two heaters (in front and back), on heater is in front, and the other position of heater is on the back. The magnitude of the deflection and torsion angle is affected by the influence of thickness, width, and length of Cu-Ni, Cu-block variations in the position of Ni, and temperature. Then, development of this study can be used as the basis for the development of smart materials products, through the process of Indirect Multi Sintering Material Deposition (MMD-Is) which use powder as a raw material product material.*

**Keyword:** bimetal, thermal, FEM, ANSYS.

### 1. Pendahuluan

Perkembangan industri elektronika, telekomunikasi dan sistem pembangkit daya sedemikian cepat terjadi pada saat ini. Industri-industri tersebut merupakan konsumen utama produk-produk bimaterial sebagai kawat penghantar,

sensor dan aktuator. Salah satu bimaterial yang diperlukan dalam jumlah besar pada industri-industri tersebut adalah batang aluminium dengan sisipan tembaga yang digunakan untuk elemen elektronik dan penghantar kelistrikan [1]. Karena besarnya potensi produk bimaterial dalam aplikasi proses rekayasa, berbagai riset telah dilakukan untuk meningkatkan akurasi prediksi perilaku defleksi dan kualitas produk bimaterial.

Tiga metode independen untuk memprediksi tegangan normal dan tegangan geser interfacial dalam elemen bimaterial telah dibandingkan oleh [2]. Dalam papernya mereka mengemukakan bahwa ketepatan analisis berkaitan erat dengan penghitungan tegangan yang dekat dengan ujung bebas elemen bimaterial. Sedangkan teori pendekatan berguna untuk estimasi desain awal, prosedur analisis yang lebih detail harus dilakukan untuk memperoleh harga defleksi maksimum dan distribusi tegangannya.

Untuk alasan ketepatan dalam proses desain, analisis perilaku defleksi bimaterial dengan menggunakan simulasi finite element method telah dilakukan oleh [3]. Perilaku defleksi bimaterial dapat dianalisis dengan menghitung besar tegangan yang diperoleh dari penentuan distribusi temperatur pada seluruh permukaan bimaterial terlebih dahulu. Tahanan yang terjadi digunakan untuk menghitung nilai regangan yang terjadi akibat tegangan yang terjadi. Demikian halnya dengan [4] yang telah mengembangkan suatu model analitis untuk memprediksi defleksi dan gaya kantilever bimaterial. Dalam papernya mereka mengemukakan pengkategorian pengaruh pengekaman oleh beban aksial akibat perumaterial temperatur. Hal tersebut merupakan pendekatan baru untuk memprediksi pengaruh termal non linier pada regangan katilever. Teknik profilometry telah digunakan untuk mengukur regangan termal. Perbandingan dengan hasil eksperimental digunakan untuk memverifikasi suatu model.

Berbagai jenis material telah dikembangkan sebagai produk bimaterial. Kualitas sambungan produk bimaterial Cu dan AL telah diinvestigasi dengan menggunakan matiks pengujian dalam bentuk dan dimensi [5]. Sedangkan optimasi kualitas bimaterial Al-Cu yang dibuat dengan metode yang sama telah diteliti oleh [6]. Dalam uraiannya dikemukakan bahwa setiap tahapan proses produksi menentukan kualitas produk dalam kekuatan sambungan antar logam dan keseragaman ketebalan lapisannya. Mereka menyimpulkan bahwa semakin tebal lapisan pelapis akan menurunkan ikatan antar lapisan. Jarak yang semakin dekat antara poros aluminium dan pipa tembaga meningkatkan kualitas sambungan.

Paper ini membahas analisis perilaku defleksi dan putaran bimaterial material Cu-Ni dalam berbagai formasi yang dilakukan dengan simulasi FEM. Hasil yang diperoleh diverifikasi dengan hasil pengujian secara eksperimental.

## METODE PENELITIAN

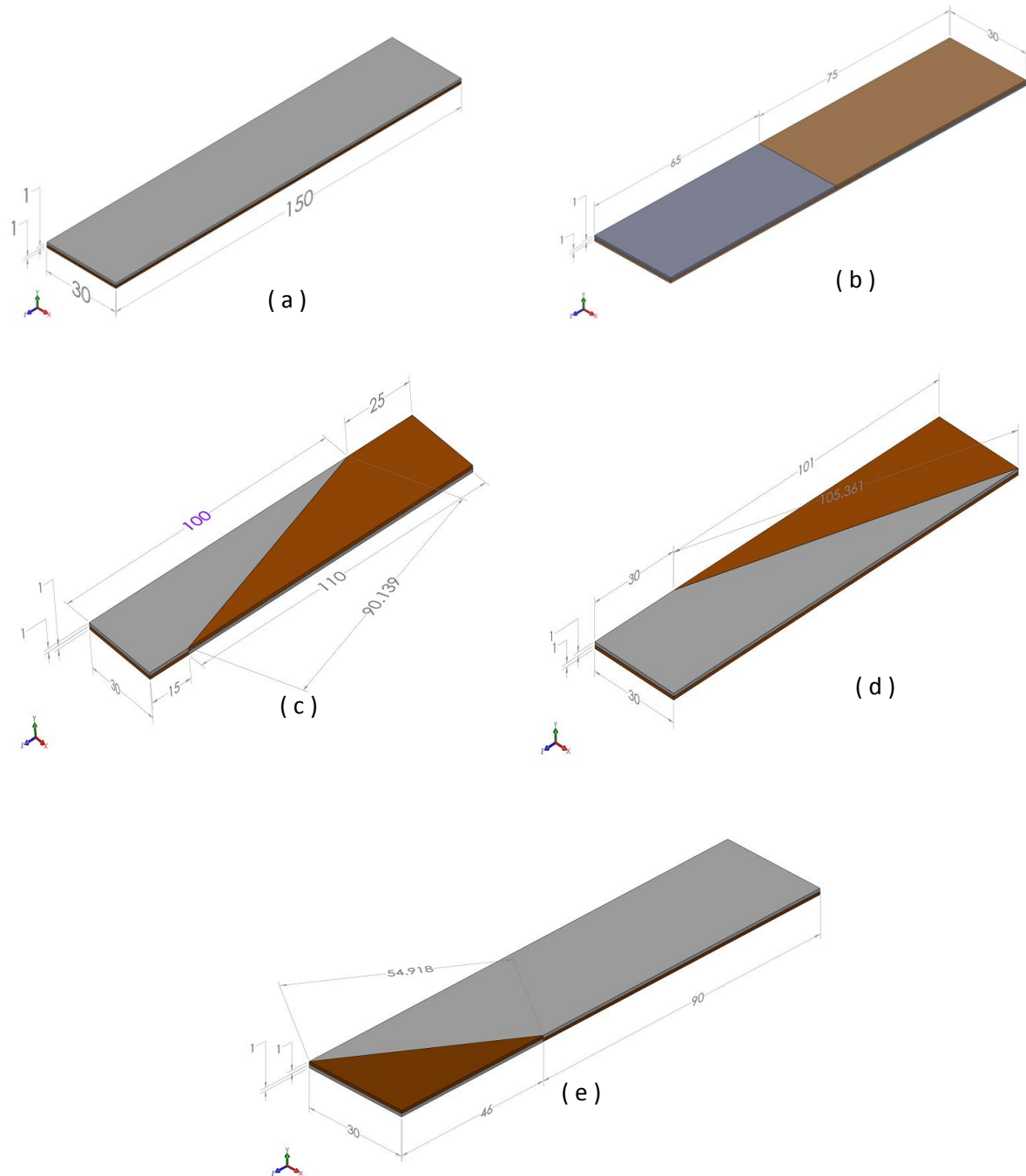
### 2.1 Material dan Alat Penelitian

#### a. Material dan formasi bimaterial Cu-Ni

Penelitian dilakukan dengan metode simulasi dan eksperimental untuk bimaterial bermaterial Cu (tembaga) dan Ni (nikel) dengan karakteristik mekanis dan termal masing-masing material diuraikan dalam **Tabel 1**. Ukuran dan formasi material bimaterial yang disimulasikan meliputi model defleksi vertikal (**Gambar 1a**), model defleksi vertikal berseling (**Gambar 1b**), model defleksi puntir 1 (**Gambar 1c**), model defleksi puntir 2, dan model defleksi puntir 3. Kontur defleksi diamati dan hasilnya dibandingkan dengan hasil pengujian bimaterial secara eksperimental.

**Tabel 1.** Karakteristik Mekanis dan Termal Material Cu dan Ni

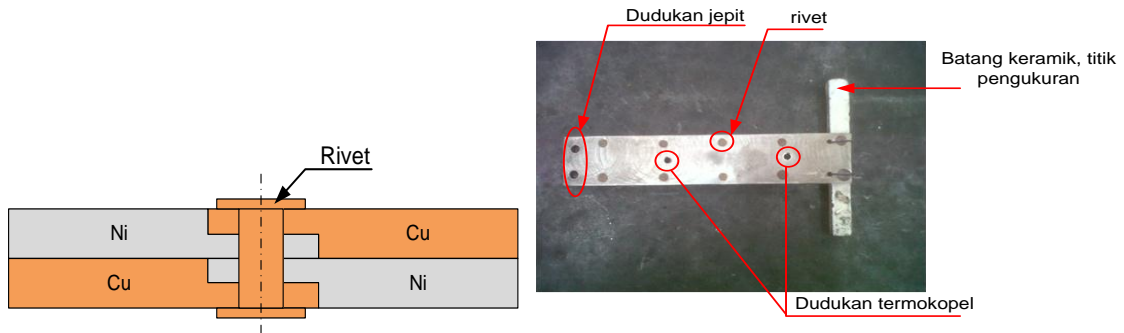
Karakteristik Mekanis dan Termal	Ni	Cu
Modulus elastisitas	200 GPa	131,5 Gpa
Ekspansi termal	(25°C) $13,4 \times 10^{-6}$ m/m.K.	$16,8 \times 10^{-6}$ m/m.K
Massa jenis pada suhu kamar	9,908 g/cm <sup>3</sup>	8,96 gr/cm <sup>3</sup>
Konduktivitas thermal	(300 K) 90.9 W/(m.K)	399 W/m.K
Titik lebur	1455°C	1085 °C
Resistivitas listrik	(20°C) 69.3 n	



**Gambar 1.** Formasi material Cu dan Ni pada bimaterial model: a. Formasi vertikal, b. formasi vertikal berseling, c. model puntir variasi 1, d. model puntir variasi 2, e. model puntir variasi 3.

#### b. Pembuatan bimaterial Cu-Ni

Bimaterial Cu-Ni dibuat dengan cara menggabungkan plat Cu dan plat Ni sesuai dengan ukuran yang disesuaikan dengan desain model yang disimulasikan. Proses penggabungan bimaterial dilakukan dengan rivet yang menggunakan material batang Cu berdiameter 2 mm. Untuk menghasilkan sambungan arah diagonal, plat Cu dan Ni dimilling setengah tebal untuk membuat bidang overlap (**Gambar 2**).

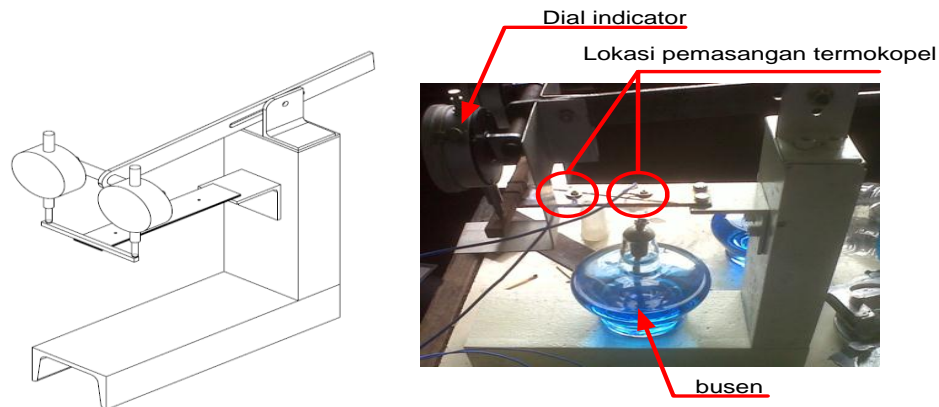


**Gambar 2.** a. Proses perivetan untuk menggabungkan plat Cu dan Ni, b. Bimaterial Cu-Ni.

c. Rig Uji kinerja defleksi dan puntiran bimaterial

Pengujian kinerja defleksi bimaterial dilakukan dengan mengukur defleksi pada ujung bimaterial pada variasi temperatur pemanasan. Namun pemanasan aktual berbeda kondisinya dengan asumsi pemanasan seragam dalam pensimulasian dengan FEM. Pemanasan menggunakan busen (pemanas bermaterial bakar spirtus) sehingga pemanasan bersifat lokal. Temperatur pemanasan diukur dengan sensor termokopel yang ditempelkan pada logam bimaterial pada lokasi pemanasan. Pemanasan bimaterial dilakukan dengan memvariasikan lokasi dari dua lokasi yang ditentukan (depan atau ujung dan belakang dekat tumpuan jepit).

Pengukuran defleksi menggunakan dial indicator yang sensornya ditumpukan pada batang keramik yang diikat dengan ujung bimaterial. Batang keramik digunakan untuk mengisolasi panas, sehingga tidak merambat ke sistem pengukur dial indicator. Konstruksi rig uji kinerja bimaterial seperti ditunjukkan dalam **Gambar 3**.



**Gambar 3.** Set-up pengujian perilaku defleksi dan puntiran bimaterial.

d. Dial indicator

Berfungsi untuk mengetahui nilai defleksi pada ujung permukaan bimetal. Pada pengujian secara eksperimental ini, penulis menggunakan dua buah dial indikator merk MITUTOYO dengan nilai ketelitian 0,01mm, seperti ditunjukkan pada **Gambar 4**.



**Gambar 4.** Dial indicator

e. Busen

Gelas piala yang digunakan untuk memanaskan bimetal, busen ini menggunakan bahan bakar spirtus. Pada pengujian eksperimental ini penulis menggunakan dua pemanas busen yang diposisikan seperti pada **Gambar**, H1

untuk busen diposisi depan, dan H2 untuk busen pada posisi belakang (dekat dengan penjepit), seperti ditunjukkan pada **Gambar 5**



**Gambar 5.** busen.

f. Thermodisplay

Berfungsi untuk mengetahui suhu pada titik pemasangan *thermokopel*, seperti ditunjukkan pada **Gambar 5**.

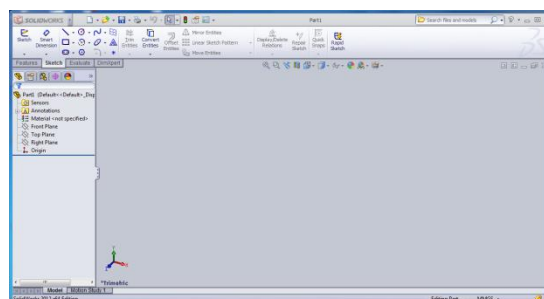


**Gambar 6.** Thermodisplay.

2.2 Software simulasi bimetal

a. Software bantu *SolidWorks 2012*

Dalam menganalisa perilaku bimetal, penulis menggunakan *software* bantu "*SolidWorks*" untuk memodelkan bimetal. *SolidWorks* merupakan *software* desain yang tujuan akhirnya adalah untuk menghasilkan gambar teknik profesional. *Software* ini biasa digunakan di industri untuk membantu proses manufaktur ataupun perencanaan. Dalam melakukan pemodelan bimetal ini, penulis menggunakan *SolidWorks 2012 SP.0*, yang mana hasilnya berupa gambar *solid*. **Gambar 7** di bawah ini adalah tampilan *SolidWorks* pada *windows*.



**Gambar 7.** Tampilan *SolidWorks* pada *Windows*.

b. Software simulasi *ANSYS.14.0*.

Pada pemodelan ini penulis menggunakan *software ANSYS.14.0*. ANSYS adalah sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk pemodelan elemen hingga dalam penyelesaian berbagai permasalahan numeris. Permasalahan tersebut meliputi permasalahan statika, dinamika, analisis struktur (linier atau nonlinier), perpindahan panas, mekanika fluida, serta permasalahan elektromagnetis [7].

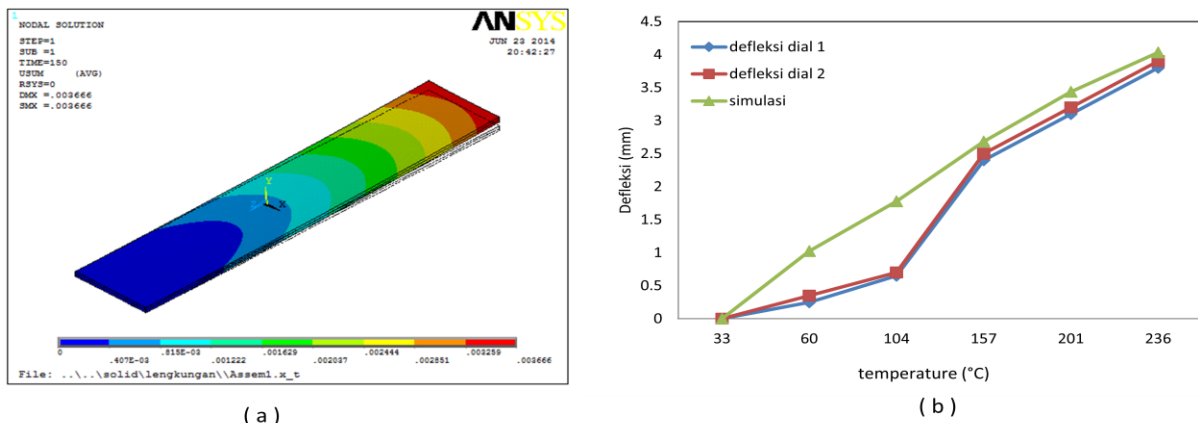
Penelitian dimulai dengan membangun geometri awal (*initial geometry*) bentuk asperiti yang disederhanakan dalam bentuk plat secara 3 dimensi (3D), kemudian mensimulasikannya dalam formasi plat Cu berada pada posisi di bawah sedangkan plat Ni berada pada posisi di atas, Langkah berikutnya adalah memasukan parameter awal yang meliputi properti material, penerapan kondisi batas dan pembebanan. Adapun alur dalam *softwear ANSYS* adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan nilai distribusi suhu:
  - **Preprocessor** - Membuat model - Memasukan elemen type - Memasukkan material properties - Meshing,
  - **Solution** - Memasukkan analysis type - Memasukkan syarat batas suhu ( define load) - Solve,
  - **Postprocessor** - Plot Result (Mendapatkan distribusi suhu)
2. Mendapatkan nilai defleksi,
  - **Preprocessor** - Merubah elemen type (dari thermal ke struktural) - Mengambil data properties dari distribusi suhu - Meshing,
  - **Solution** - Memasukkan analysis type - Memasukkan analysis option - Solve,
  - **Postprocessor** - Plot Result (Mendapatkan bentuk dan nilai defleksi).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil komparasi bimetal variasi vertikal

Hasil pensimulasian bimaterial formasi vertikal dengan perangkat FEM menunjukkan bahwa defleksi yang terjadi berbentuk lengkungan dengan arah menuju material yang memiliki koefisien ekspansi termal yang lebih rendah (Ni). Defleksi yang terjadi tidak menunjukkan hubungan yang linier terhadap posisi relatifnya terhadap tumpuan jepit *beam*. Untuk mengamati pengaruh dimensi bimaterial pada defleksi yang dihasilkan akibat stimulasi temperatur, pensimulasian dilakukan untuk tiga variasi titik pemanas.

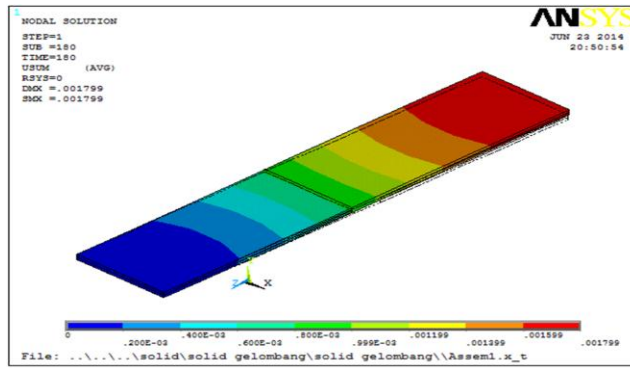


**Gambar 8.** gambar hasil simulasi bimetal variasi vertikal, a) Tampak isometrik, b) Grafik hasil komparasi defleksi secara eksperimen dengan simulasi.

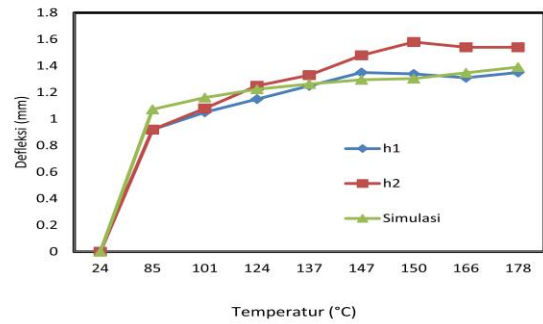
#### 3.2 Hasil komparasi bimetal variasi kombinasi panjang

Hasil pensimulasian bimaterial formasi kombinasi panjang dengan perangkat FEM menunjukkan bahwa defleksi yang terjadi berbentuk gelombang dengan arah menuju material yang memiliki koefisien ekspansi termal yang lebih rendah (Ni). Defleksi yang terjadi tidak menunjukkan hubungan yang linier terhadap posisi relatifnya terhadap tumpuan jepit *beam*. Untuk mengamati pengaruh dimensi bimaterial pada defleksi yang dihasilkan akibat stimulasi temperatur, pensimulasian dilakukan untuk tiga variasi titik pemanas.





( a )



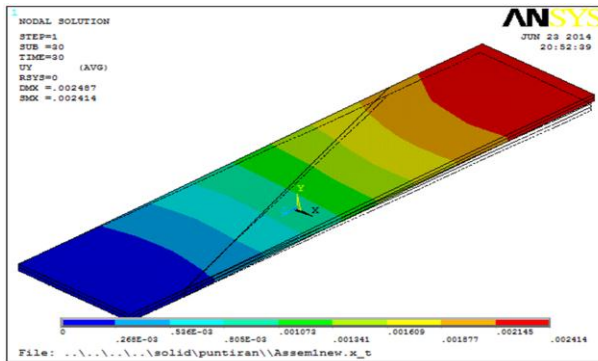
( b )

**Gambar 9.** gambar hasil simulasi bimetal variasi panjang diagonal, a) Tampak isometrik, b) Grafik hasil komparasi defleksi secara eksperimen dengan simulasi.

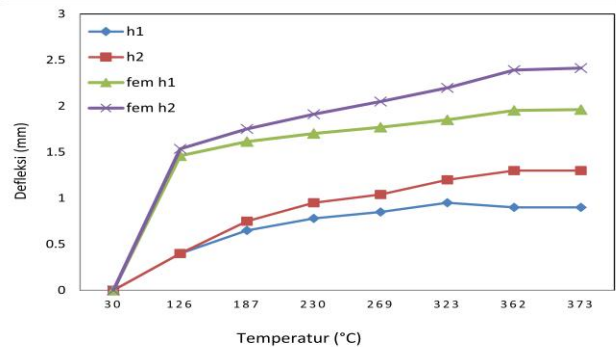
### 3.3 Hasil komparasi perilaku puntir

Pada simulasi model kombinasi lebar blok Cu-Ni selain diperoleh defleksi juga dapat diketahui perilaku puntir seperti yang ditunjukkan dalam **Gambar 10**, **Gambar 11**, dan **Gambar 12**. Dari Gambar tersebut terlihat arah puntiran bergerak terhadap sumbu y atau berlawanan dengan arah jarum jam. Hal ini menunjukkan bahwa prediksi ANSYS terhadap arah puntiran sudah sesuai. Sudut puntir yang paling besar terjadi pada ujung plat yang tidak di-*constraint*. Hal ini disebabkan pada ujung plat yang tidak di-*constraint* tidak ada gaya yang menghambat pergerakan dari plat tersebut.

Cu-Ni divariasikan posisinya seperti dalam **Gambar 1**, maka perilaku puntir dari plat bimetal tersebut ketika diberi temperatur diatas temperatur kamar akan memuntir berlawanan dengan arah jarum jam. Atau bergerak kearah material yang mempunyai nilai koefisien ekspansi termal terendah. Dengan demikian bisa dikatakan hasil simulasi ini sejalan dengan teori karakteristik termal bimetal.

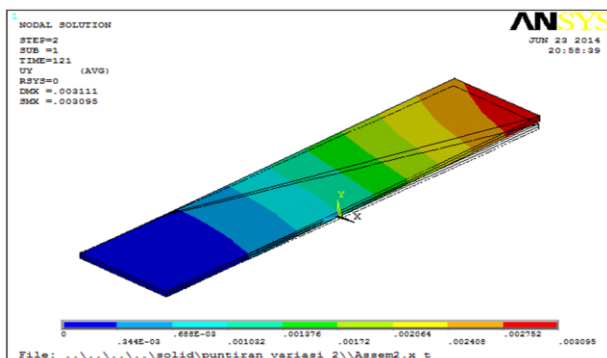


( a )

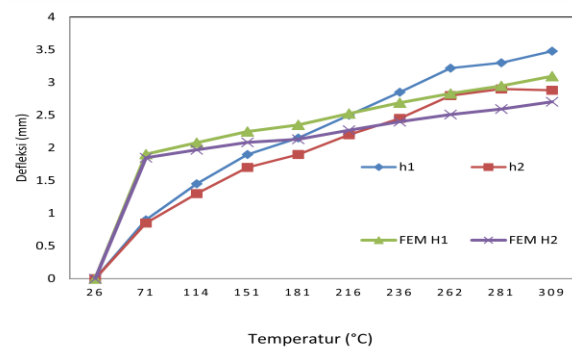


( b )

**Gambar 10.** gambar hasil simulasi bimetal perilaku puntir variasi I, a) Tampak isometrik, b) Grafik hasil komparasi defleksi secara eksperimen dengan simulasi.

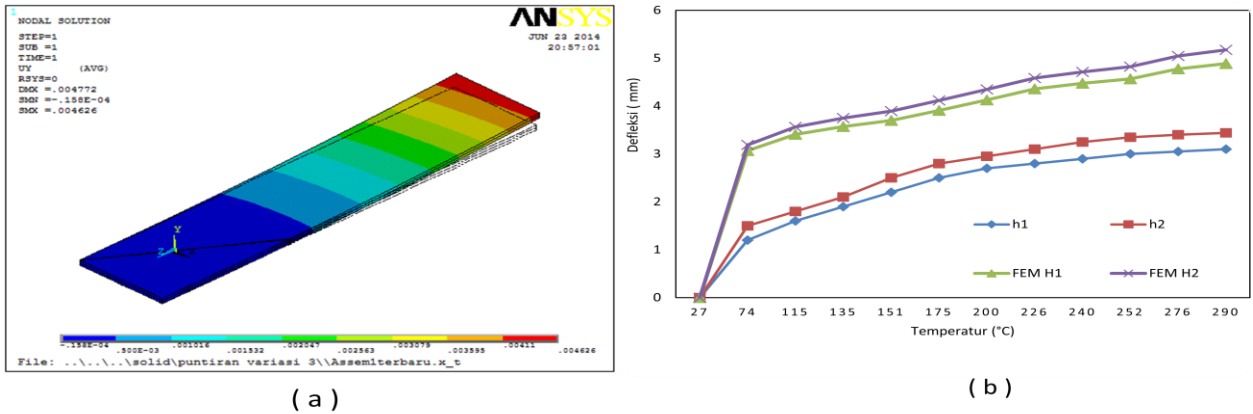


( a )



( b )

**Gambar 11.** gambar hasil simulasi bimetal perilaku puntir variasi II, a) Tampak isometrik, b) Grafik hasil komparasi defleksi secara eksperimen dengan simulasi.

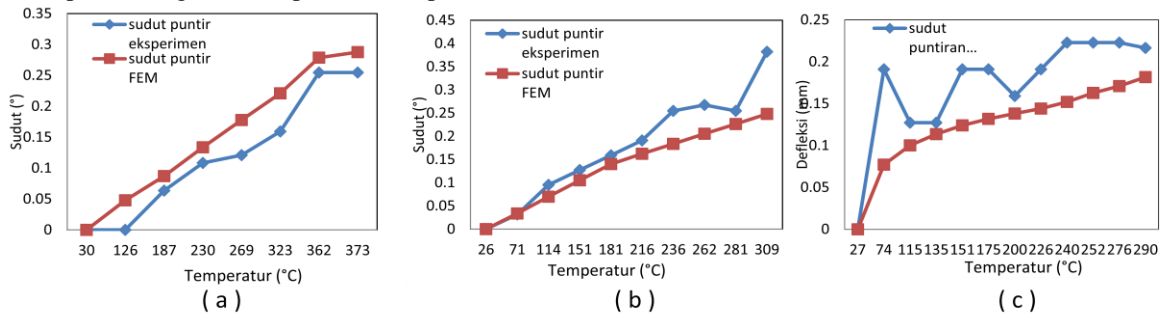


**Gambar 12.** gambar hasil simulasi bimetal perilaku puntir variasi III, a) Tampak isometrik, b) Grafik hasil komparasi defleksi secara eksperimen dengan simulasi.

Dari persimulasian variasi potongan diagonal ini, didapatkan efek puntiran pada material yang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

- Posisi ujung terendah : 0,33 mm
- Posisi ujung tertinggi : 0,69 mm
- Jarak titik pengukuran (simetris terhadap sumbu netral) : 90 mm
- Sudut puntir =  $\arcsin((0,69 - 0,33) / 90) = 0,23$  derajat.

Dari persamaan diatas maka data sudut puntir eksperimen dengan sudut puntir FEM dapat dikomparasikan, grafik komparasi sudut puntir



**Gambar 13.** Grafik hasil komparasi sudut puntir, a) Grafik sudut puntir variasi I, b) Grafik sudut puntir variasi II, c) Grafik sudut puntir variasi III.

#### 4. Kesimpulan

Studi tentang perilaku mekanis dengan variasi formasi blok material Cu-Ni akibat stimulasi temperatur telah ditampilkan dengan lima model, yakni model posisi Cu-Ni vertikal, model kombinasi panjang blok Cu-Ni, model kombinasi lebar blok Cu-Ni, model variasi pertama kombinasi lebar blok Cu-Ni dan model variasi pertama kombinasi lebar blok Cu-Ni. Kesimpulan yang dapat diambil dari kajian ini adalah:

- a. Perbedaan antara hasil simulasi dan eksperimental disebabkan oleh:
  - Diskontinuitas dimensi material: secara eksperimental hampir tidak mungkin diperoleh ukuran material yang akurat seperti halnya pada proses simulasi. Permukaan nikel difreis, selain itu karena tipisnya material, gaya proses pemotongan dapat menyebabkan diskontinuitas ukuran benda kerja. Aspek perivetan juga merupakan faktor penting yang menyebabkan diskontinuitas material.
  - Perbedaan nilai koefisien ekspansi thermal antara harga simulasi dengan kondisi aktualnya. Secara aktual hampir tidak mungkin memperoleh harga ekspansi thermal material yang sama dengan harga teoritisnya.
- b. Bimetal dapat membengkok ke arah salah satu sisinya jika mempunyai koefisien ekspansi thermal yang berbeda. Bila plat logam tersebut diberi stimulasi pada temperatur yang lebih tinggi dari suhu pengikatnya, maka akan terjadi pembengkokan atau pergeseran.
- c. Perilaku defleksi dan puntiran bimaterial Cu-Ni antara hasil simulasi dan eksperimental menunjukkan kecenderungan yang sama. Namun bila dilihat dari hasil pengukurannya, defleksi dan puntiran hasil pengukuran



cenderung lebih besar dibandingkan hasil simulasi dengan FEM. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa besar sudut puntir ditentukan oleh panjang-pendeknya sambungan diagonal antar material.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dimitrov, L.N., Kuznecov, E.V., Kobelev A.G, “Bimetals”, PKI, Perm, 1991.
- [2] Eischen, J.W., Chung, C and Kim,J.H., 1990, “Pemodelan riil pengaruh tegangan dalam elemen bimetal “, Transactions of the ASME, vol 112 (16)
- [3] Saragi, E dan Utaja, “Analisis Bimetal dengan Metode Elemen Hingga “, Risalah Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir XN, Juli 2003
- [4] Ramos, D., Mertens, J., Calleja, M and Tamayo, J, 2007, ”Study of the Origin of Bending Induced by Bimetallic Effect on Microkantiliver”, *Sensors*, 7, 1757-1765
- [5] Babul, W., Chosen , 1968, “ Problems of explosive cladding”, Branch Source of Technical-Scientific and Economic Information, Warsaw.
- [6] Berski a, S., Stradomski b, Z and Dyja, H, 2007, “ Quality of bimetal Al-Cu joint after explosive cladding”, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 22(1), 73-76.
- [7] Nakasone, Y., Yoshimoto, S., Stolarski, T. A. (2006), *Engineering Analysis with ANSYS Software*, Elsevier Butterworth-Heinemann, Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP.