
Pemodelan Blok Material Cu-Ni dalam Pengembangan *Smart Material*

Amat Umron

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Khairun, Jl. Pertamina, Gambesi, Ternate Selatan, Kota Ternate, Indonesia

amatumron@unkhair.ac.id

Abstraks

Formasi blok material antara dua komponen yang saling bersinggungan merupakan salah satu fenomena penting di dalam bidang teknik, khususnya dalam pengembangan smart material. Beberapa model yang ada melakukan pendekatan terhadap bentuk blok material menggunakan bimetal. Bimetal sendiri adalah dua material yang mempunyai koefisien ekspansi termal yang berbeda, ditempelkan menjadi satu. Bila dipanaskan pada temperatur tinggi kedua material mengalami perubahan ukuran dan tegangan (stress) yang berbeda. Penelitian ini akan membuat pemodelan blok material dan menganalisis smart material dengan bahan Cu dan Ni menggunakan metode elemen hingga untuk menentukan jarak perpindahan ujung bahan tersebut dan menentukan tegangan (stress) yang timbul akibat gaya termal, serta mengaplikasikannya menggunakan software ANSYS.

Kata kunci : Formasi blok, smart material, stress, termal, ANSYS

1. Pendahuluan

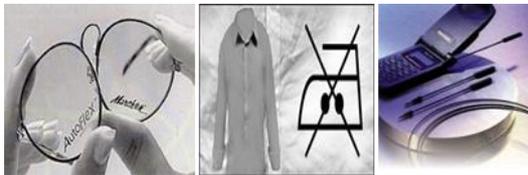
Sain dan teknologi pada abad yang akan datang dipastikan akan menekankan secara serius pada pengembangan material baru, yakni material cerdas atau *smart materials*. Material disebut sebagai *smart materials* jika mempunyai satu atau beberapa sifat yang dapat berubah secara terkontrol oleh stimulus atau rangsangan dari luar. Sifat-sifat penting *smart materials* tersebut antara lain adalah terkait dengan bentuk, dimensi, sifat listrik, sifat magnetik, sifat optis, dan sifat aliran. Sementara itu penyebab perubahan sifat-sifat atau stimulus tersebut antara lain adalah: suhu, kelembaban, pH, medan listrik, medan magnet, dan tekanan mekanis.

Secara umum, *smart material* dibedakan atas tiga kelompok, yaitu: *smart material* pasif, yang merespon stimulus secara langsung dan seragam tanpa pemrosesan sinyal, *smart material* aktif, yang dapat mensensing sinyal, menganalisis, dan akhirnya menentukan bentuk responnya, dan *Smart material* otomatis, adalah material cerdas yang paling baik karena terintegrasi dengan pengendali

(controller), sensor dan actuator (Triyana, 2007). Contoh penerapan kasus *smart material* dalam dunia industri dapat dilihat pada gambar 1.1.

Analisis material dalam pengembangan *smart materials* telah banyak berkembang saat ini. Tercatat beberapa peneliti yang telah melakukan penelitian yang menyangkut pengembangan *smart materials* diantaranya, Miyazaki, S., Otsuka, K., "Development of Shape Memory Alloys" (Miyazaki, S., Otsuka, k., 1986). Elman Panjaitan, D.N. Adnyana, (Panjaitan, Sukarjo) melakukan penelitian terhadap pengaruh laku panas penuaan terhadap presipitat TiNi₃ Paduan Ti-50,04% at.Ni. Elfrida Saragi dan Utaja, melakukan penelitian analisis bimetal dengan metode elemen hingga (Saragi, Utaja., 2003). Elfrida Saragi, Henky P.R, dan Utaja melakukan simulasi persoalan konduksi panas pada kondisi tunak untuk elemen bahan bakar reaktor triga mark II Bandung (Saragi, Hengky, Utaja., 2006). Dan Michael Mermoud "Bimetallic effect modelization on TOB Modules" (Mermound, Michael., 2001).

Pada penelitian ini diambil kasus pemodelan formasi blok material dalam pengembangan *smart material*. Penyebab perubahan sifat-sifat fisis atau stimulus adalah temperatur, dimana setelah penelitian ini akan diperoleh hasil pemodelan dan analisa numeris pada formasi blok material tersebut.



Gambar 1.

Aplikasi *smart materials* pada bidang industri
a. Frame kaca mata, b. Pakain, c. *Hand phone*
Sumber : Cordero, Richard

2. Metodologi

Sebelum melakukan analisa terhadap *present model*, terlebih dahulu penulis melakukan validasi terhadap beberapa jurnal dengan tujuan sebagai bahan acuan dan pembandingan terhadap *present model*, baik berupa hasil analitik, pemodelan maupun hasil *finite element* yang akan digunakan. Sedangkan spesifikasi data material yang digunakan pada *present model* ini ditunjukkan pada Tabel 1.

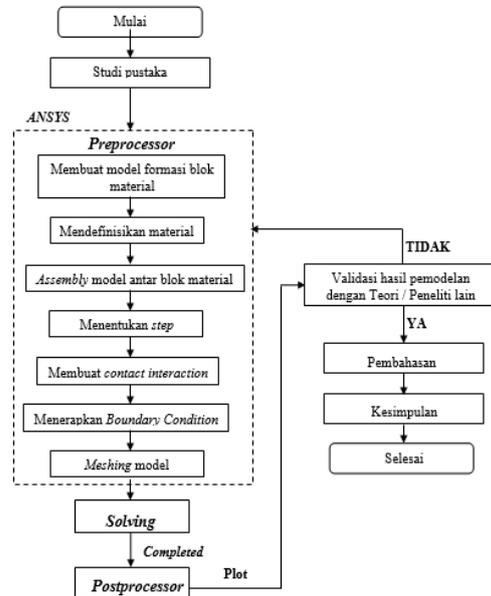
Tabel 1
Spesifikasi material.

Part's Name	Symbols	Elastic Modulus (MPa)	Poisson's Ratio (v)	Yield Stress (MPa)
Copper	Cu	11,0	0,35	69
Nickel	Ni	20,7	0,31	138

Proses awal sebelum melakukan simulasi formasi blok material adalah membuat model. Model tersebut kemudian divalidasi dengan model FEM. Hal ini bertujuan agar model yang telah dibuat benar-benar valid, baik dari sisi analitik maupun berdasar FEM.

Penelitian ini menggunakan simulasi software ANSYS yang merupakan sebuah perangkat lunak yang dapat memecahkan permasalahan pemodelan formasi blok material. Sedangkan perangkat keras yang digunakan adalah sebuah komputer dengan kapasitas RAM 4 GB dan processor intel core i5 up to 2.40 GHz. Analisa data dilakukan dengan menghitung besarnya tegangan (*stress*) yang ditimbulkan oleh beban temperatur. Besaran tegangan ini diplot dalam bentuk grafik. Grafik inilah yang kemudian akan dianalisa lebih lanjut.

Penelitian dimulai dengan membangun geometri awal (*initial geometry*) secara 3 dimensi (3D), kemudian mensimulasikannya dalam formasi blok. Langkah berikutnya adalah masukan parameter awal yang meliputi properti material, penerapan kondisi batas dan pembebanan. Adapun Diagram alir penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram Alir

a. Pemodelan Numeris

Skema pemodelan FEM dalam ANSYS diawali dengan pembuatan geometri model yang telah disederhanakan. Pemodelan dibuat dalam bentuk plat Cu-Ni yang divariasikan posisinya. Pembuatan model ini membutuhkan sifat-sifat material seperti modulus elastisitas (E), *Poisson's ratio* (ν), konduktivitas termal (k), koefisien ekspansi termal (α) dan densitas untuk masing-masing material. Dengan cara memasukkan besaran dari sifat-sifat material tersebut ke dalam kotak perintah *define material model behavior*, dan memilih *favorites* pada *material models available* untuk besaran densitas, modulus elastis, *Poisson's ratio* dan koefisien ekspansi termal. Dan memilih *thermal* untuk besaran konduktivitas termal.

Setelah langkah ini dilakukan, diskretisasi model dibuat dengan membagi menjadi elemen-elemen kecil yang disebut dengan *meshing*. Semakin banyak pembagian elemennya maka akan diperoleh hasil yang lebih akurat. Namun dengan semakin banyaknya pembagian elemen maka akan diikuti dengan semakin lama proses iterasinya. Untuk mendapatkan optimasi dari jumlah elemen yang akan digunakan semakin kecil, diperlukan proses uji coba agar dengan jumlah elemen yang kecil, hasil simulasi dapat akurat. Hal ini diperlukan agar akurasi data FEA

dengan hasil analitik untuk proses validasi memiliki perbedaan yang kecil (Syafa'at, 2010). Langkah kedua yakni menentukan variasi pemodelan, pemberian kondisi batas dan pembebanan. Pemberian kondisi batas ini mencakup *node* yang di-*constraint* agar bergerak kearah sumbu tertentu ataupun dikehendaki agar tidak bergerak kearah manapun. Berikutnya adalah pembebanan berupa temperatur, yang termasuk dalam tahap kedua dari tiga tahapan skema FEM menggunakan ANSYS, meliputi *preprocessing*, *solution*, dan *postprocessing*.

Hasil simulasi dengan sejumlah iterasi dalam tahapan ANSYS *thermal*, akan diperoleh distribusi suhu rata-rata. Distribusi suhu rata-rata ini diperoleh dengan menjumlahkan nilai beban suhu atau temperatur pada masing-masing *node* kemudian membaginya dengan jumlah *node*. ANSYS hanya bisa mengidentifikasi distribusi suhu maksimum, tetapi tidak bisa mengidentifikasi distribusi suhu rata-rata. Untuk melihat jumlah dan nomor *node* dapat dilihat pada *nodal loads* pada bagian *postprocessing*.

Langkah ketiga setelah mendapatkan hasil distribusi suhu tersebut adalah mencari defleksi yang terjadi. Dengan cara terlebih dahulu merubah *preferences* dari *thermal* ke *structural*. Hasil distribusi suhu akan dipakai sebagai data untuk mencari distribusi tegangan. Dari distribusi tegangan selanjutnya akan diperoleh besarnya defleksi yang terjadi. Data pemodelan ini kemudian disimpan untuk kemudian diambil pada simulasi berikutnya jika arah defleksi belum sesuai dengan arah yang kita inginkan.

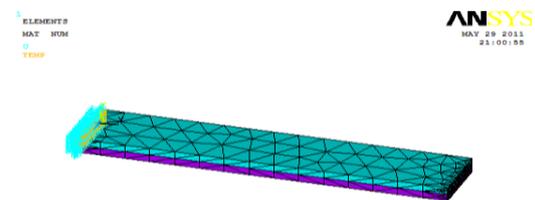
b. Kualitas mesh

Kualitas *mesh* memiliki peranan penting dalam hal keakuratan dan stabilitas perhitungan numeris. Kualitas *mesh* ini dipengaruhi oleh distribusi *nodal*, kehalusan (*smoothness*) dan kecondongan. Jenis *mesh* dalam ANSYS terdiri dari beberapa jenis yakni; *mesh keypoints*, *lines*, *areas* dan *volumes*. Sedangkan bentuk *mesh* sendiri terbagi menjadi tiga bentuk meliputi *mapped*, *free* dan *target surf*. Dimana bentuk *meshing* seperti terlihat dalam Gambar 3.

Ketika mendiskretisasikan suatu daerah asal, sifat-sifat penting aliran seperti daerah separasi, *shock wave*, lapisan batas, dan *mixing zone*, tergantung pada kerapatan distribusi *nodal* dalam *mesh*. Dalam beberapa hal resolusi yang kurang baik dalam daerah kritis dapat mengubah karakteristik aliran, sebagai contoh prediksi separasi yang dikarenakan oleh gradien tekanan, sangat merugikan pada kerapatan hulu lapis batas pada titik separasi. Pada resolusi lapisan batas, misalnya jarak *mesh* dekat-dinding (*mesh*

spacing) juga memainkan peranan penting dalam hal keakuratan tegangan geser dinding dan koefisien perpindahan panas yang akan dihitung. Perubahan yang dratis dalam volume sel diantara sel-sel yang berdekatan dapat memperbesar *truncation error*. *Truncation error* adalah perbedaan antara turunan parsial dalam persamaan-persamaan umum yang berkaitan dengan distriknya.

Bentuk sel termasuk di dalamnya kecondongan (*skewness*) dan aspek rasio memiliki dampak yang signifikan terhadap keakuratan hasil numeris. kecondongan didefinisikan sebagai perbedaan antara bentuk sel yang ada dengan bentuk sel sama sisi (*equilateral*) pada volume yang ekuivalen. Sel yang terlalu condong dapat mengurangi keakuratan dan stabilitas solusi. Sedangkan aspek rasio adalah suatu ukuran sel yang membentang.



Gambar 3
Bentuk *meshing*.

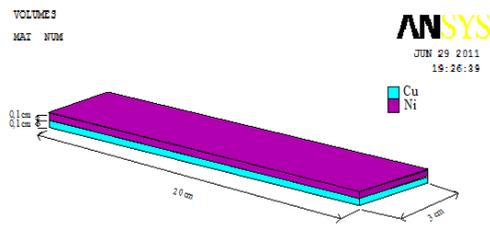
c. Deskripsi Masalah

Present model berbentuk sebuah plat dengan data geometri seperti dalam Gambar 5.5. Variasi posisi blok material Cu-Ni pada *present* model divariasikan terhadap sumbu Y, dan Z. Untuk model dibuat dalam bentuk persegi panjang. Pembebanan yang diberikan adalah berupa temperatur dengan asumsi temperatur yang diterima oleh plat tersebut adalah seragam. Temperatur yang diberikan divariasikan mulai 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, dan 600 °C. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan besarnya defleksi pada setiap variasi temperatur tersebut.

d. Model

Model variasi bimetal ini dikembangkan berdasarkan hasil penelitiannya Saragi dan utaja (2003). Aplikasi pemodelan ini banyak ditemukan dalam bidang rekayasa, diantaranya dalam sistem mekanisme *thermostat* pada AC, setrika listrik, termometer dll. Pemodelan posisi Cu-Ni vertikal dibuat dengan dimensi panjang plat Cu-Ni = 20 cm, tebal Cu= 0,1 cm dan tebal Ni = 0,1 cm dengan lebar plat Cu-Ni = 3 cm. Temperatur yang diberikan divariasikan mulai 100 °C, 200 °C, 300

$^{\circ}\text{C}$, $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, dan $600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4
Model posisi Cu-Ni.

e. Langkah Pengerjaan

Untuk memperjelas sistematika tahapan-tahapan dalam upaya pencapaian hasil yang diharapkan dari penelitian ini, maka disusun langkah pengerjaan. Penelitian dimulai dengan membangun geometri awal (*initial geometry*) bentuk asperiti yang disederhanakan dalam bentuk blok secara 3 dimensi (3D), kemudian mensimulasikannya dalam formasi blok. Langkah berikutnya adalah memasukkan parameter awal yang meliputi properti material, penerapan kondisi batas dan pembebanan. Adapun alur dalam *software ANSYS* adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan nilai distribusi suhu:
 - a. *Preprocessor*
 - 1). Membuat model
 - 2). Memasukkan elemen *type*
 - 3). Memasukkan *material properties*
 - 4). *Meshing*
 - b. *Solution*
 - 1). Memasukkan *analysis type*
 - 2). Memasukkan syarat batas suhu (*define load*)
 - 3). *Solve*
 - c. *Postprocessor*
 - 1). *Plot result* (Mendapatkan distribusi suhu).
2. Mendapatkan nilai geser:
 - a. *Preprocessor*
 - 1). Merubah elemen *type* (dari *thermal* ke *structural*)
 - 2). Mengambil data *properties* dari distribusi suhu
 - 3). *Meshing*
 - b. *Solution*
 - 1). Memasukkan *analysis type*
 - 2). Memasukkan *analysis option*
 - 3). *Solve*
 - c. *Postprocessor*
 - 1). *Plot result* (Mendapatkan arah pergeseran dan nilai defleksi).

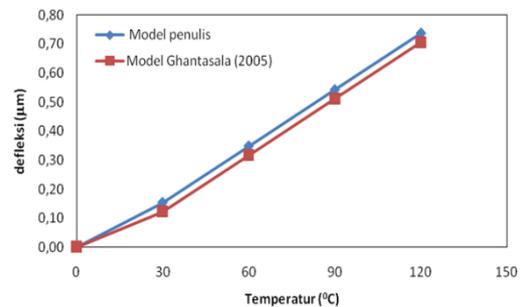
3. Hasil dan Pembahasan

Simulasi perilaku mekanis model blok material Cu-Ni diawali dengan memasukkan perintah-perintah simulasi. Setelah melalui tahapan *solving*, maka dapat diperlihatkan hasil-hasil simulasi pada *postprocessor* yang merupakan tahapan terakhir dari *software ANSYS*.

a. Validasi hasil simulasi

Validasi adalah proses untuk menentukan apakah sebuah model cukup akurat dalam mempresentasikan hasil simulasi dengan kondisi nyatanya dan sesuai dengan tujuan penggunaan tersebut (Kucukgokoglan, 1998). Validasi dapat dilakukan dengan berbagai cara, antara lain dengan membandingkan hasil simulasi dengan hasil eksperimen, membandingkan hasil simulasi dengan simulasi orang lain atau dengan metode *independent grid* (Nugroho, 2007). Untuk validasi penulis melakukan simulasi dengan parameter yang sama persis seperti pada simulasi yang dilakukan oleh Ghantasala (2005).

Hasil simulasi Ghantasala (2005) dan hasil simulasi penulis, diperoleh besarnya defleksi akibat stimulasi temperatur seperti ditunjukkan dalam Gambar 4. Pada temperatur $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ defleksi penulis sebesar $0,153\text{ }\mu\text{m}$, dan Ghantasala sebesar $0,122\text{ }\mu\text{m}$. Pada temperatur $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ defleksi penulis sebesar $0,348\text{ }\mu\text{m}$, dan Ghantasala sebesar $0,317\text{ }\mu\text{m}$. Dan untuk temperatur $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ defleksi penulis sebesar $0,543\text{ }\mu\text{m}$, dan Ghantasala sebesar $0,512\text{ }\mu\text{m}$. Serta pada temperatur $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ defleksi penulis sebesar $0,738\text{ }\mu\text{m}$, dan Ghantasala sebesar $0,707\text{ }\mu\text{m}$. Dari Gambar 4 hasil simulasi model penulis dengan hasil simulasi model Ghantasala (2005) dapat dikatakan sesuai karena penyimpangan yang terjadi pada setiap temperatur hanya 3,1%, atau sebesar $0,031\text{ }\mu\text{m}$, hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan pada *meshing*.

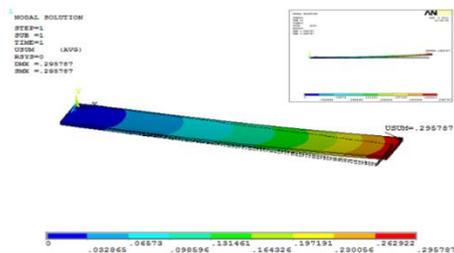


Gambar 5
Grafik perbandingan defleksi model Ghantasala (2005) dengan model penulis.

b. Analisis Perilaku Defleksi pada Model

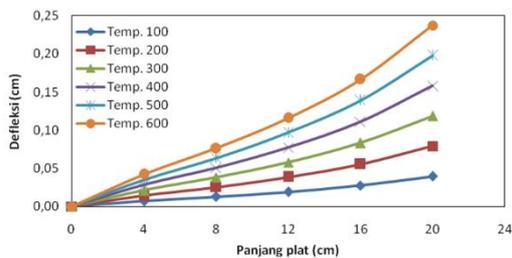
Untuk mengetahui dan memperjelas perilaku yang terjadi pada model, digunakan bimetal dengan material Cu-Ni, sebagai bahan pengujian. Hal ini dimaksudkan untuk membuktikan kebenaran dari prinsip bimetal, yang mana bila dua buah material atau logam yang mempunyai nilai koefisien ekspansi termal berbeda ketika diberi stimulasi temperatur diatas temperatur kamar maka akan membengkok kearah material yang mempunyai nilai koefisien ekspansi termal terendah.

Setelah semua kode-kode simulasi diterapkan dan dijalankan, maka dapat diperlihatkan besaran yang diamati yaitu nilai defleksi seperti ditunjukkan Gambar 5. Dari Gambar 5 terlihat arah defleksi bergerak searah sumbu Y positif atau kearah atas. Hal ini menunjukkan bahwa prediksi ANSYS terhadap arah defleksi sudah sesuai. Defleksi yang paling besar semuanya terjadi pada ujung plat yang tidak di-constraint.



Gambar 6
Arah dan besaran defleksi yang terjadi pada model.

Dari hasil simulasi posisi blok material yang diletakan secara vertikal, Ni pada posisi di atas dan Cu pada posisi di bawah maka, diperoleh perilaku defleksi seperti terlihat dalam Gambar 5. Dari Gambar 5 dapat dianalisis jika dua buah material yang berbeda, dan material tersebut mempunyai nilai koefisien ekspansi termal yang berbeda pula, kemudian diikat menjadi satu dan diberi stimulasi temperatur diatas temperatur kamar maka akan terjadi defleksi kearah yang mempunyai nilai koefisien ekspansi termal terkecil.



Gambar 7
Grafik hubungan defleksi dengan stimulasi temperatur terhadap jarak plat.

Hasil simulasi pada model dimana model tersebut divariasikan terhadap stimulasi temperaturnya, diperoleh besarnya defleksi terhadap jarak plat akibat stimulasi temperatur tersebut seperti ditunjukkan dalam Gambar 6. Defleksi terbesar terjadi pada pembebanan temperatur 600 °C. Pada temperatur tersebut untuk panjang plat 0 cm atau *node* 1 bimetal tidak mengalami perubahan sehingga defleksi yang terjadi sama dengan nol (0). Pada panjang 4 cm atau *node* 17 defleksi yang terjadi sebesar 0,05 cm. Sedangkan pada panjang bimetal 8 cm atau *node* 14 sebesar 0,09 cm. Penambahan defleksi tersebut terus mengalami peningkatan seiring dengan bertambah panjang jarak plat. Dimana untuk jarak 12 cm atau *node* 11 besarnya perbedaan defleksi menjadi 0,013 cm, dan pada jarak 16 cm atau *node* 8 menjadi 0,017 cm. Dan pada ujung plat, pada jarak 20 cm atau *node* 20 besarnya menjadi 0,024 cm. Sedangkan defleksi terendah terjadi pada pembebanan temperatur 100 °C.

4. Kesimpulan

Studi tentang pemodelan blok material Cu-Ni dalam Pengembangan *Smart Material* telah ditampilkan dengan enam (6) variasi stimulasi temperatur. Kesimpulan yang dapat diambil dari kajian ini adalah:

1. Pemodelan blok material Cu-Ni memperlihatkan arah defleksi bergerak kearah material Ni.
2. Hasil pembebanan berupa variasi temperatur mulai dari 100 °C sampai dengan 600 °C memperlihatkan laju defleksi berbanding lurus terhadap besarnya temperatur yang diberikan. Semakin tinggi stimulasi temperatur yang diberikan maka akan semakin besar defleksi yang terjadi. Defleksi terkecil pada temperatur 100 °C yakni sebesar 0,032 cm, serta defleksi terbesar pada temperatur 600 °C yakni 0,024 cm.

Daftar Pustaka

- [1] Triyana, Kuwat, "PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN SMART MATERIAL DAN APLIKASINYA", *Laboratorium Fisika Material dan Elektronika, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pasti Alam, UGM, Yogyakarta*. 2007
- [2] Miyazaki, S., Otsuka, k., "DEVELOPMENT OF SHAPE MEMORY ALLOYS", *ISIJ International*, 29 (5) (1986).

- [3] Panjaitan, Elman., dan Sukarjo,S.G., “PENGARUH WAKTU PENUAAN TERHADAP SIFAT SUPERELASTISITAS PADUAN SHAPE MEMORY TI-50,85%AT.Ni” *Bidang Bahan Industri, Pusat Penelitian dan Pengembangan Ilmu Pengetahuan Teknologi Bahan, BATAN.*
- [4] Saragi,Elfrida., Utaja., “ANALISIS BIMETAL DENGAN METODE ELEMEN HINGGA”, *Risalah Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir XIV, Juli 2003.*
- [5] Saragi,Elfrida., Hengky,P.R. Utaja., “SIMULASI PERSOALAN KONDUKSI PANAS PADA KONDISI TUNAK UNTUK ELEMEN BAHAN BAKAR REAKTOR TRIGA MARK II BANDUNG”, *Risalah Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir XVII, Agustus 2006.*
- [6] Mermound, Michael,“BIMETALLIC EFFEK MODELIZATION ON TOB MODULES ”, *Cooperant, EP-CMT Division. 2001*
- [7] Jr Callister, William.D., “MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING”, *Departement of Metallurgicl Engineering, Seventh Edition, The University of Utah. 1985*
- [8] A. Cremonesi,dkk., “SYNTHESIS AND STRUCTURAL CHARATERIZATION OF MESOPOROUS V2O5 THIN FILM FOR ELEKTRONICA APPLICATIONS”, *Thin Solid Films, 515,1500. 2006,*
- [9] M.G. Alvarez, dkk., “PHOTODYNAMIC ACTIVITY OF A NEW SENSITIZER DERIVED FROM PORPHYRIN-C60 DYAD AND ITS BIOLOGICAL CONSEQUENCE IN A HUMAN CARCINOMA CELL LINE”, *The International Journal of Biochemistry and Cell Biology. 2006*
- [10] Leo. Donal. J., “ENGINEERING ANALYSIS OF SMART MATERIAL SYSTEMS”, *Departemen of Mechanical Enginerring, Virgina Polytechic Institute and Sate University Blacksurg, Virgina. 2007*
- [11] Sudira.Tata, Saito Shinroku., “PENGETAHUAN BAHAN”, *Pradnya Paramita. 1995,*