

**PERILAKU MATERIAL LOGAM  
HASIL PROSES SEVERE PLASTIC DEFORMATION (SPD)  
DAN APLIKASINYA**



**PIDATO PENGUKUHAN**  
Dalam Jabatan Guru Besar Ilmu Bahan  
Jurusan Metalurgi Fakultas Teknik  
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disampaikan pada Rapat Terbuka Majelis Guru Besar

Oleh:

**Prof. Dr. Eng. A. Ali Alhamidi, ST.,MT**

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Tanggal Januari 2021



**Prof. Dr. Eng. Ahmad Ali Alhamidi, ST.,MT**

*Bismillahirrahmanirrohim*

*Assalamualaikum Warahmatullohi Wabarakatuh*

*Alhamdulillah wasyukurillah Muhammad Rosulillah, Laakhaula walakuwata illabillah, robbisrokhli sodri wayasirli amri wahlulukdatamillisani yafqohu qauli, amma ba'du.*

Yang saya hormati:

- Ketua dan anggota Majelis Guru Besar Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
- Ketua dan anggota senat universitas sultan ageng tirtayasa,
- Dewan Pertimbangan Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
- Rektor universitas sultan ageng tirtayasa
- Para wakil rektor, Dekan, Ketua lembaga, Direktur pasca sarjana dan kepala biro di lingkungan Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
- Para Wakil dekan, kepala UPT, Para wakil direktur pasca sarjana, Kepala PUI dan para skeretaris Lembaga di lingkungan Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Para Kepala bagian dan sub bagian serta seluruh tenaga kependidikan khususnya di lingkungan FT-Untirta
- Para kolega dosen dan tenaga fungsional lainnya di lingkungan universitas sultan ageng tirtayasa
- Istriku, anak-anaku yang saya cintai dan wabil khusus Bapak-Ibu Mertua, Kakak-kakaku dan adik-adiku yang tercinta.
- Para tamu undangan yang tak bisa saya sebutkan satu persatu yang saya muliakan.

Pertama-tama marilah kita panjatkan rasa syukur kita kehariat Alloh SWT atas limpahan rahmat dan kasih sayangNya yang telah memberi kita nikmat sehat sehingga bisa menghadiri diacara pidato pengukuhan guru besar saya dengan Judul "PERILAKU MATERIAL LOGAM HASIL PROSES SEVERE PLASTIC DEFORMATION DAN APLIKASINYA".

Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan pada junjungan nabi besar Muhammad SAW.

**Hadirin yang saya muliakan,**

Seperti diketahui logam banyak digunakan di industri baik otomotif, militer dan juga penerbangan karena logam menawarkan keunggulan sifat mekanik dan sifat lain yang tidak dimiliki oleh bahan lain dan telah memberi banyak manfaat dalam kehidupan

manusia. Dalam trend teknologi militer, aerospace dan otomotif sekarang ini didorong agar design lebih kompak, slim sehingga hemat bahan bakar yang berdampak langsung dengan pengurangan tingkat konsumsi bahan bakar sekaligus emisi gas buang. Efisiensi berbanding lurus dengan berat dari kendaraan, sehingga semakin besar kendaraan maka semakin besar konsumsi bahan bakar. Salah satu faktor pemberat tersebut adalah berat kendaraan itu sendiri. Untuk mengurangi berat tersebut dan tanpa mengurangi kualitas maka perlu dilakukan rekayasa bahan selama dan sesudah proses pembentukan (manufacturing). Pembentukan logam secara definisi adalah memberikan gaya untuk mendeformasi logam menjadi bentuk yang diinginkan tanpa mengalami kegagalan. Dalam pembentukan aspek metalurgi berupa dislokasi memberi gambaran mudah tidaknya suatu logam dibentuk, semakin mudah dislokasi bergerak maka semakin mudah pula proses pembentukan atau sebaliknya semakin sulit dislokasi bergerak maka menunjukkan semakin kuat logam untuk melawan gaya deformasi. Salah satu cara untuk menghambat pergerakan dislokasi adalah dengan pengecilan ukuran butir sampai ke ukuran butir super halus (ultra fine grains) bahkan berukuran nano (nano grains).

Dalam beberapa tahun terakhir, salah satu proses untuk menghasilkan bahan berstruktur nano adalah dengan metode severe plastic deformation (SPD) sebagai bagian dari proses manufaktur dan ini telah menarik para peneliti dalam ilmu logam karena dapat dikondisikan tidak hanya oleh sifat fisik yang unik dan sifat mekanik yang melekat pada berbagai bahan berstruktur nano, tetapi juga oleh beberapa keunggulan bahan hasil proses SPD dibandingkan dengan bahan struktur nano yang diproses dengan metode lainnya seperti yang diproses melalui kondensasi gas atau ball milling selanjutnya dikompaksi, Seperti diketahui didalam proses pembentukan yang dilakukan secara konvensional seperti pengerolan, tempa, dan ekstrusi regangan plastik yang diberikan umumnya kurang dari 2.0, sedangkan untuk pengerolan multi-pass, drawing dan ekstrusi, regangan yang diberikan bisa melebihi 2.0, ketebalan dan diameter juga akan menjadi lebih tipis dan kecil sehingga proses ini kurang cocok untuk komponen struktur. Proses ini juga dapat menghaluskan mikrostruktur pada temperatur rendah, tetapi struktur yang terbentuk biasanya merupakan sub-struktur dari tipe seluler dan memiliki batas butir dengan misorientasi sudut rendah.

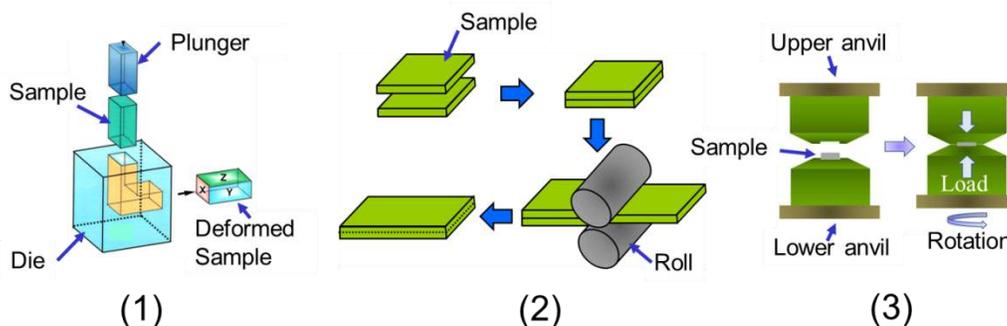
Secara khusus metode SPD dapat mengatasi sejumlah kesulitan terkait dengan masih adanya porositas dalam sampel yang dipadatkan, pengotor yang dapat timbul selama proses dan dari ball milling itu sendiri. Prinsip pembentukan logam berstruktur nano menggunakan metode SPD adalah alternatif dari metode kompaksi serbuk nano. Severe plastic deformation (SPD) dilakukan dengan memberi regangan plastik yang sangat besar pada suatu logam padatan atau serbuk untuk mendapatkan logam dengan butiran yang sangat halus (ultra-fine grained) bahkan sampai ukuran butiran nano (nano-grained) tanpa mengakibatkan perubahan bentuk. Tujuan utama dari

proses SPD adalah untuk menghasilkan rasio berat yang rendah dan memiliki kekuatan yang tinggi dan secara tidak langsung lebih ramah terhadap lingkungan.

Seperti diketahui bahwa bahan ultrafine grain (UFG) adalah bahan yang sangat menarik karena memiliki sifat mekanik yang unggul dan sifat fisik yang tidak biasa seperti modulus elastisitas rendah, temperatur Curie dan Temperatur Debye yang rendah.

Pada tahun 2006, Komite Pengarah seminar internasional nanoSPD telah mendefinisikan bahan UFG sebagai polikristal dengan butiran sangat kecil pada tingkat nanometer (dengan ukuran butir rata-rata kurang dari 100 nm) atau di tingkat submikrometer (dengan ukuran butir rata-rata dalam kisaran 100-1000 nm), memiliki mikrostruktur yang cukup homogen dan cukup ekuivalen, dengan mayoritas batas butir memiliki sudut misorientasi yang tinggi. Untuk mencapai bahan UFG, minat yang besar telah dikembangkan selama dua dekade terakhir dalam pengolahan bahan melalui penerapan deformasi plastik parah (SPD). Proses SPD didefinisikan sebagai metode untuk penyempurnaan butir di mana regangan plastik yang sangat besar dikenakan dalam bahan curah untuk membuat butiran ultrafine tanpa memasukkan perubahan signifikan dalam dimensi keseluruhan sampel (ali alhamidi, Phil.Mag, 2014).

Ada banyak penelitian tentang produksi struktur UFG melalui teknik SPD. Teknik SPD yang paling populer adalah equal-channel angular pressing (ECAP), akumulatif roll-bonding (ARB) dan torsi tekanan tinggi (HPT) (E. kaveh, disertasi 2005), seperti yang diilustrasikan pada Gambar berikut.



Gambar: (1) ECAP, (2) ARB dan (3) HPT

Metode SPD harus memenuhi sejumlah persyaratan yang harus diperhitungkan agar menghasilkan struktur nano dalam bulk-sampel dan billet. Persyaratan ini adalah sebagai berikut:

- Pertama, penting untuk mendapatkan struktur butiran ultra-halus dengan batas butir bersudut tinggi karena hanya ini yang dapat merubah secara kualitatif sifat bahan.

- Kedua, diperlukan pembentukan struktur nano yang seragam dalam seluruh volume bahan agar memberikan sifat stabil dari bahan yang diproses.
- Ketiga, proses deformasi yang sangat besar melalui SPD tidak menjadikan adanya kerusakan mekanik atau retakan.

Berbagai proses SPD telah banyak dikembangkan didalam proses pembentukan logam seperti equal channel angular pressing (ECAP), accumulative roll-bonding (ARB), high pressure torsion (HPT), repetitive corrugation and straight-tening (RCS), cyclic extrusion compression (CEC), torsion extrusion, severe torsion straining (STS), cyclic closed-die forging (CCDF), super short multi-pass rolling (SSMR), twist extrusion (TE). Ada tiga proses SPD seperti ECAP (Gambar 1), ARB (Gambar 2) dan HPT (Gambar 3) dengan rumusan *equivalen strain* ( $\epsilon$ ), seperti dibawah, dan yang sering dilakukan oleh para peneliti.

<b>ECAP</b>	$\epsilon = \frac{N}{\sqrt{3}} \left[ 2 \cot \left( \frac{\Phi}{2} + \frac{\Psi}{2} \right) \right] + \Psi \operatorname{cosec} \left[ \left( \frac{\Phi}{2} + \frac{\Psi}{2} \right) \right]$
<b>ARB</b>	$\epsilon = -\frac{2N}{\sqrt{3}} \ln \frac{t}{t_0}$
<b>HPT</b>	$\epsilon = \frac{2\pi r N}{\sqrt{3} t}$

Logam dengan ukuran butir ultra-fine grained yang dihasilkan melalui proses SPD menunjukkan kekuatan yang tinggi. Tegangan luluh (*yield*) logam polycrystalline  $\sigma_Y$ , berhubungan erat dengan diameter butir  $d$ , sebagaimana rumusan yang dibuat oleh Hall–Petch yaitu:

$$\sigma_Y = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{d}} \quad (1)$$

dengan  $\sigma_0$  adalah tegangan gesek dan  $k$  adalah konstanta. Persamaan (1) menunjukkan bahwa tegangan luluh meningkat dengan semakin kecil akar dari ukuran butir ( $d^{1/2}$ ). Ukuran butir yang semakin kecil menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi tanpa mengurangi ketangguhan, yang berbeda dengan metode penguatan lain seperti pada proses perlakuan panas.

Perubahan tegangan sebenarnya berbanding terbalik dengan akar dari ukuran butir sebagaimana persamaan Hall–Petch. Hal ini karena tegangan sebenarnya pada besi dengan ukuran butir halus dengan butiran sub-micrometer adalah lima kali lebih besar dari pada besi murni komersial. Sehingga logam struktur konvensional dengan butiran *ultra-fine* adalah lebih ringan akibat kekuatan yang tinggi. Karena besi murni tidak memiliki elemen yang berbahaya, dengan sendirinya ramah terhadap lingkungan.

Selain peningkatan kekuatan, butiran ultra-fine juga meningkatkan superplasticity pada logam superplastik, peningkatan ketahanan korosi dan leleh juga dimungkinkan untuk logam berbutir halus hasil proses SPD. Selain itu, logam dengan butiran ultra-fine tersedia untuk komponen micro.

**Hadirin yang saya muliakan,**

### **Produksi intermetalik pada temperatur ruang dengan SPD**

Salah satu produk yang bisa dihasilkan adalah mengubah serbuk Al dan Ni menjadi senyawa intermetalik seperti Al<sub>3</sub>Ni. Dimana hal ini dimungkinkan adanya interaksi interdifusion atom Al dan Ni bertemu menghasilkan structure baru tersebut di temperature ruang.

Berdasarkan rumusan Einstein tentang difusi, bahwa jarak difusi,  $x$ , dirumuskan sbb:

$$x = \sqrt{Dt}$$

Dengan  $D$  adalah koefisien difusi dan  $t$  adalah waktu untuk atom berdifusi. Untuk mengestimasi nilai  $D$  bisa diambil dari ukuran microstruktur hasil TEM yang diproduksi dengan proses SPD/HPT. Dari hasil HPT menghasilkan ukuran butir 30 nm, maka ini menunjukkan nilai diffusion path ( $x$ ) dan dengan mengambil  $t$  selama proses HPT, maka akan dihasilkan nilai  $D$  sesuai dengan kondisi waktu dan temperature. Dan hasil menunjukkan bahwa nilai koefisien difusi semakin meningkat dengan semakin meningkatnya temperature proses HPT sebagai contoh dengan temperatur proses  $T = 300, 373, 473$  and  $573K$ , maka nilai  $D$  didapat  $3.0 \times 10^{-19}$ ,  $6.0 \times 10^{-19}$ ,  $1.5 \times 10^{-18}$  dan  $1.5 \times 10^{-18} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Hasil ini kalau dikomparasikan dengan nilai interdifusion dalam intermetallic Al<sub>3</sub>Ni yang diformulasikan oleh Darken yang mengadopsi nilai *self diffusion* Al dan Ni melalui rumusan.

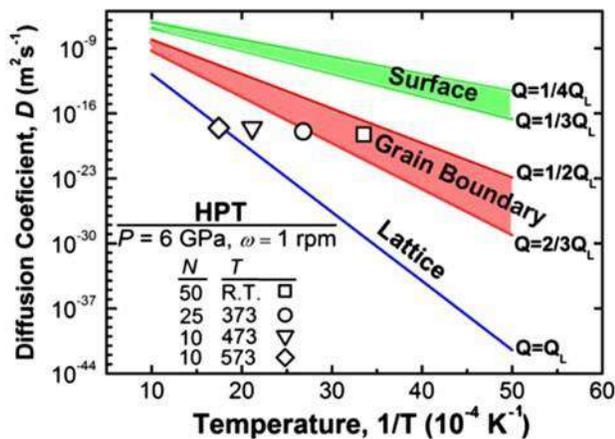
$$D = (N_{Ni}D_{Al} + N_{Al}D_{Ni})\Phi S$$

dengan  $D_{Al}$  adalah nilai interdifusion Al dan  $D_{Ni}$  nilai interdifusion Ni, sedang  $N$  adalah fraksi atom masing-masing unsur penyusun,  $\Phi$  adalah factor dinamik dan  $S$  adalah factor yang terkait dengan aliran kekosongan (*vacancy flow*). Maka didapat nilai koefisien difusi melalui persamaan Arrhenius.

$$D = D_o \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

Dengan  $D$  adalah factor pre-exponential,  $Q^*$  adalah energy aktivasi, sedang  $RT$  adalah tetapan gas umum dan temperatur mutlak. Jika nilai  $D$  dan  $Q^*$  untuk difusi kisi dari Al dan Ni, untuk self-difusi kisi dari Al dan Ni diambil dari Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology, Diffusion in Solid Metals and Alloys H. Mehrer, vol. 26 1990) dan nilai  $D$  dihitung dengan persamaan Arrhenius.

Sehingga estimasi nilai interdifusi dalam Al - 25mol% Ni didapat  $5.5 \times 10^{-30}$ ,  $5.6 \times 10^{-25}$ ,  $8.9 \times 10^{-21}$  and  $4.9 \times 10^{-18} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  pada temperatur 300, 373, 473 dan 573 K. Disini nilai  $\Phi S$  sekitar  $\sim 1$ . Perbandingan menunjukkan nilai perbandingannya sebesar  $10^3$ – $10^{11}$  kali lebih rendah dari yang dihitung dengan persamaan difusi untuk temperatur 300, 373 and 473 K. Akan tetapi untuk koefisien difusi pada temperature 573 K tetap konsisten dengan nilai yang dihitung menggunakan persamaan difusi. Ini hampir sama dengan system Al-Cu dimana perbandingannya, hanya nilainya lebih tinggi yaitu  $10^{12}$ – $10^{22}$  kali selama proses HPT pada temperature ruang bila dibandingkan kepada difusi kisi. Dalam hal ini menunjukkan bahwa nilai koefisien difusi tidak melihat efek dari tekanan, sebab pelibatan tekanan 6 GPa dalam proses HPT menurunkan koefisien difusi  $10^6$  kali.



Gambar, estimasi koefisien difusi selama proses HPT pada berbagai temperatur vs temperatur dikomparasi dengan referensi yang dihitung dengan 3 energi aktivasi yaitu difusi kisi ( $Q = Q_L$ ), difusi batas butir ( $Q = (1/2-2/3)Q_L$ ) dan difusi permukaan ( $Q = (1/4-1/3)Q_L$ ).

Kenaikan difusi disebabkan oleh hadirnya densitas cacat kisi yang tinggi seperti kekosongan berlebih, dislokasi dan batas butir. Berdasarkan perhitungan difusi antara atom nikel dan aluminium, memperlihatkan bahwa proses SPD melalui HPT yang mereduksi ukuran butir sampai ke ukuran 30 nm memberikan implikasi perubahan mekanisme difusi. Dimana proses pembentukan intermetalliks umumnya dilakukan melalui peleburan dengan melibatkan mekanisme difusi permukaan. Sebagaimana diketahui proses difusi dibangkitkan melalui aktivasi energy. Jika aktivasi energy nilainya

1/2 - 2/3 aktifasi energi kisi maka difusi yang terjadi pada logam tersebut disebut difusi batas butir, sedangkan jika aktifasi energinya 1/4-1/3 aktifasi energi kisi maka yang terjadi adalah difusi permukaan dimana atom-atom lebih bebas bergerak untuk berinteraksi satu dengan yang lainnya. Hasil perhitungan inter-difusion pada material Al - Ni yang diproses HPT dengan reduksi ukuran butir mencapai 30 nm menghasilkan aktifasi energi setara dengan aktifasi energi untuk difusi batas butir. Sehingga dapat dipahami, bahwa senyawa intermetallic terbentuk pada temperature ruang selama proses HPT oleh karena dua parameter:

- (1) banyaknya konsentrasi cacat kisi dan temperature proses. Pembentukan konsentrasi kekosongan yang tinggi dan dislokasi selama proses HPT menghasilkan penurunan  $Q$  dan meningkatkan kecepatan difusi. Konsentrasi cacat kisi menurun dengan semakin meningkatnya temperature disebabkan thermal recovery, yang meningkatkan nilai  $Q$ .
- (2) kenaikan temperature selama proses yang akan menstimulasi vibrasi atom yang meningkatkan difusi.

**Hadirin yang saya muliakan,**

### **Pengaruh SPD terhadap Pelunakan dan pengerasan dengan annealing paduan Aluminum-Zinc: dekomposisi elemen dan spinodal**

Ada dua hal yang menarik dalam penelitian ini: (i) pelunakan oleh HPT dan pengerasan dengan annealing dan (ii) dekomposisi elemen selama proses HPT dan dekomposisi spinodal selama annealing. Umumnya pelunakan pada logam murni yang dikenai peregangan yang besar terjadi akibat mudahnya proses recovery dislokasi, mudahnya rekristalisasi dan pertumbuhan butir. Tetapi mekanisme ini tidak terjadi pada paduan Al-Zn yang mengalami peregangan yang sangat besar dengan HPT dimana kekerasan menurun seiring dengan semakin besarnya peregangan. Hal ini dengan mudah dengan melihat profil peak dari analisa XRD yaitu pelebaran peak sebagai indikator semakin halusya ukuran butir. Ini menunjukkan kontradiksi dengan teori dan formulasi dari Hall-Petch dimana kekuatan dan atau kekerasan meningkat disebabkan semakin meningkatnya densitas dislokasi atau semakin halusya ukuran butir. Hal yang sama pengecilan ukuran butir dan hadirnya presipitat yang kecil kekerasan tetap menurun. Namun setelah annealing dari hasil HPT presipitat semakin hilang tetapi kekerasan semakin meningkat. Ini juga berlawanan dengan fenomena pengerasan akibat presipitasi, work hardening, solid solution hardening dan grain refinement..

Work hardening  $\tau = \alpha G b \sqrt{\rho}$

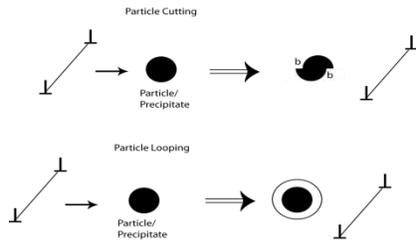
Solid solution hardening

$$\Delta\tau = Gb\sqrt{c}\varepsilon^{3/2}$$

Grain refinement

$$\sigma_y = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{d}}$$

Precipitation hardening



$$\tau = \frac{Fp}{lb}$$

$$\tau = \frac{Gb}{l}$$

Huang et al. dalam artikelnya menjelaskan pengaruh dislokasi terhadap kekerasan bisa sangat berbeda didalam logam murni yang berukuran nano. Dimana tidak ada dislokasi hadir, tegangan ekstra diperlukan untuk menggerakkan mobilitas dislokasi untuk deformasi dan logam menunjukkan pengerasan dislokasi dengan sumber yang terbatas. Sementara untuk paduan Al-Zn banyak sekali sumber dislokasi yang hadir seperti batas butir, batas interphase, dan presipitat. Pelunakan terjadi pada logam ini lebih dikarenakan terjadinya transformasi dari struktur nano-lamellar ke struktur butiran equaxial dengan ukuran submikrometer dan sebagian karena rendahnya temperature homolog. Ini harus dicatat bahwa pelunakan sangat jarang terjadi pada pengerasan solusi melalui dekomposisi elemen sebab efek dari solution hardening lebih lemah dalam paduan Al-Zn. Terjadinya dekomposisi spinodal setelah solution heat-treatment dan kecepatan pendinginan disebabkan terbentuknya dekomposisi spinodal bukan karena pengaruh solution hardening, ini juga dilaporkan oleh beberapa publikasi paduan Al-Zn.

Pengamatan seluruh mikrostruktur menunjukkan adanya penghancuran struktur halus akibat dekomposisi spinodal dan pembentukan butiran equaxial ini yang menjadikan terjadinya pelunakan setelah proses HPT. Setelah annealing, terjadi disolusi presipitat namun disisi lain terjadi dekomposisi spinodal didaerah dengan larutan lewat jenuh yang tinggi. Jika kejenuhan ini tidak tinggi, dekomposisi spinodal tidak terjadi tapi nukleasi dan pertumbuhan terjadi akibat proses termodinamika.

Paduan Al-Zn memiliki temperature melting yang rendah yaitu 830 K dan ini berbanding dengan temperature homolog  $T/T_m = 0.36$ . Selain itu, dekomposisi paduan Al-Zn ke Al dan Zn setelah HPT yang mana kedua logam memiliki temperature leleh yang rendah yaitu 933 K untuk Al and 693 K untuk Zn. Olehkarena itu, temperature ruang besarnya sesuai dengan temperature homolog 0,32 untuk Al dan 0,43 untuk Zn. Temperatur

homolog menjadi tinggi untuk material dengan densitas cacat kisi yang tinggi setelah HPT. Ini telah ditunjukkan sebelumnya bahwa pada temperature homolog yang tinggi, maka kekerasan setelah HPT menurun meskipun terjadi penurunan butir setelah HPT. Ini mesti diketahui bahwa teorema Hall–Petch tidak sesuai pada temperatur homolog disebabkan efek batas butir, yang bekerja menghilangkan dislokasi, menyebabkan batas butir tergelincir dan memfasilitasi hadirnya kekosongan (vacancy). Sebagai contoh ditemukan pada paduan Al–3% Mg–0.25% Sc yang diproses HPT dimana ukuran butir ultra halus didapat dan mendapatkan nilai kekerasan yang tinggi daripada butiran kasar ketika diukur di temperatur ruang tapi lebih kecil ketika diukur di temperatur homolog.

(i) perbedaan kekerasan dari butiran halus Al setelah HPT ( $1.3 \mu\text{m}$  grain size) dan Al butiran besar yang dianil ( $1000 \mu\text{m}$  grain size) hanya 10 Hv bila kekerasan diukur pada temperature 300 K, tapi ini tidak setinggi 48 Hv bila kekerasannya diukur pada temperature 90 K.

(ii) Perbedaan sangat signifikan antara Al-Zn hasil proses HPT ( $190 \text{ nm}$  grain size) dan Al-Zn ( $130 \mu\text{m}$  grain size) hasil solution treatment bila diukur pada temperature 90 K.

(iii) Bila kekerasan diukur pada temperatur 300 K, paduan Al-Zn ultra-fine grain ( $190 \text{ nm}$ ) mempunyai kekerasan lebih rendah dari Al yang diproses HPT ( $1.3 \mu\text{m}$  grain size) dan lebih rendah dari Zn yang diproses HPT ( $20 \mu\text{m}$  grain size). Tetapi, bila kekerasan diukur pada temperature 90 K, paduan Al-Zn hasil HPT memiliki kekerasan lebih tinggi dari Al dan Zn yang diproses HPT. Hal ini terkait dengan temperature meleting material tersebut.

Berdasarkan analisis XRD dan analisa elemen. Dekomposisi elemen terjadi selama proses SPD dalam hal ini adalah HPT pada temperature ruang, sebagaimana dalam diagram fasa keseimbangan. Pertanyaan yang muncul adalah apakah mungkin ini bias terjadi proses dekomposisi yang berlangsung hanya beberapa menit dan temperature ruang. Jawabannya adalah mungkin sekali bahwa difusi atom bias dipercepat dengan proses HPT disebabkan hadirnya cacat kisi densitas tinggi dan ini sudah pernah diteliti oleh . Selain difusi atom, recovery dinamik dan rekristalisasi juga bias mempengaruhi proses dekomposisi elemen. Fenomena difusi atom ini dipengaruhi oleh tiga factor selama proses SPD yaitu temperature, tekanan dan regangan. Temperatur dihasilkan selama proses SPD sehingga meningkatkan difusi atom sebagaimana persamaan Arrhenius. Namun, penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kenaikan temperatur selama HPT tidak terlalu signifikan jika dibandingkan dengan temperatur leleh material, terutama untuk material dengan kekerasan rendah. Karena kekerasan paduan saat ini kurang dari 200 Hv, temperatur sampel selama pemrosesan HPT tidak boleh melebihi 330 K. Kenaikan temperatur dari 300 K menjadi 330 K selama pemrosesan HPT menyebabkan peningkatan 50 kali lebih besar untuk koefisien difusi atom terlarut Zn

dalam paduan Al-Zn. Sementara itu, tekanan tinggi selama pemrosesan HPT meningkatkan penghalang energi untuk pergerakan atom dan menekan difusi atom, seperti yang diberikan dalam Persamaan diatas. Oleh karena itu, penerapan tekanan lebih dominan daripada kenaikan temperatur sehingga efek tekanan dan temperatur secara keseluruhan tampak minimal dalam operasi HPT saat ini.

Regangan yang dihasilkan oleh HPT adalah sangat besar sehingga menghasilkan densitas cacat kisi yang tinggi seperti vacancies, dislocations dan batas butir. Jumlah fraksi yang besar dari cacat kisi maka secara signifikan menurunkan energy aktivasi untuk difusi disebabkan kontribusi difusi jalur pendek (*short-circuit diffusion*) dan juga meningkatnya jumlah vakansi. Ini menjadi alasan bukti utama bahwa energy aktivasi menurun selama proses SPD khususnya pada temperatur rendah.

## **Hadirin yang kami muliakan**

### **Produksi material superplastic dengan SPD**

Bahan superplastik telah banyak digunakan dalam banyak aplikasi di industri otomotif dan pesawat terbang karena menawarkan beberapa manfaat seperti pengurangan bobot untuk efisiensi bahan bakar yang tinggi, peningkatan kinerja struktur, peningkatan kemampuan bentuk logam dan perkakas berbiaya rendah. Sebagaimana diketahui, masalah utama dalam memanfaatkan superplastisitas adalah bahwa laju regangan sangat lambat seperti pada kisaran  $\sim 10^{-4}$ - $10^{-3}$  s<sup>-1</sup>. Hal ini menjadi kelemahan dalam penerapan superplastisitas pada industri manufaktur. Untuk mengatasi kelemahan tersebut, banyak upaya telah dikhususkan untuk mengembangkan superplastisitas laju regangan tinggi (High Strain Rate Superplasticity, HSRS), biasanya dengan laju regangan  $>10^{-2}$  s<sup>-1</sup> atau mendekati tingkat kerja panas komersial  $\sim 10^{-1}$  hingga  $10^2$ s<sup>-1</sup>, dalam beberapa paduan dan komposit.

Paduan aluminium 2024 telah dilaporkan memiliki kekuatan tinggi dan toleransi kerusakan yang baik karena pengendapan partikel Al<sub>2</sub>CuMg. Beberapa investigasi tentang HSRS dari paduan Al-2024 dilaporkan oleh Lee et al. dengan perpanjangan maksimum 500% pada temperatur 673 K setelah diproses dengan penekanan sudut saluran yang sama (ECAP), oleh Dobatkin et al. dengan perpanjangan maksimum 570% pada temperatur 673 K setelah diproses dengan torsi tekanan tinggi (HPT), dan oleh Charit et al. dengan perpanjangan maksimum 525% pada 703 K setelah diproses dengan friction stir processing (FSP). Perpanjangan tertinggi 1830% dicapai setelah perlakuan termo-mekanis (TMT) oleh Zheng dan Baoliang tetapi laju regangan kurang dari  $1,3 \times 10^{-3}$  s<sup>-1</sup> agak lambat dan temperatur pengujian 773 K tinggi.

Sebagaimana diketahui bahwa penghalusan butir adalah syarat penting untuk pencapaian HSRS. Pemrosesan melalui SPD seperti ECAP dan HPT adalah cara praktis untuk mengurangi ukuran butir ke submikrometer dan / atau skala nanometer. Secara khusus, HPT menjanjikan untuk penghalusan butiran karena mampu

menghaluskan ukuran butir lebih halus daripada proses SPD lainnya dan ini berlaku untuk bahan keras dan rapuh seperti intermetalik dan keramik karena ketegangan di bawah tekanan tinggi. Namun, perkembangan struktur mikro mungkin tidak homogen di sepanjang diameter bakalan untuk pemrosesan HPT, dan dengan demikian, seperti dilaporkan oleh Dobatkin et al., penghalusan butir kurang dicapai di sekitar bagian tengah tetapi lebih baik di area luar cakram. Dengan demikian, superplastisitas muncul di area terakhir. Bagaimana ketergantungan laju regangan (yaitu, sensitivitas laju regangan) dan ketergantungan temperatur (yaitu, energi aktivasi), dan mekanisme yang terlibat dalam superplastisitas Al-2024 paduan

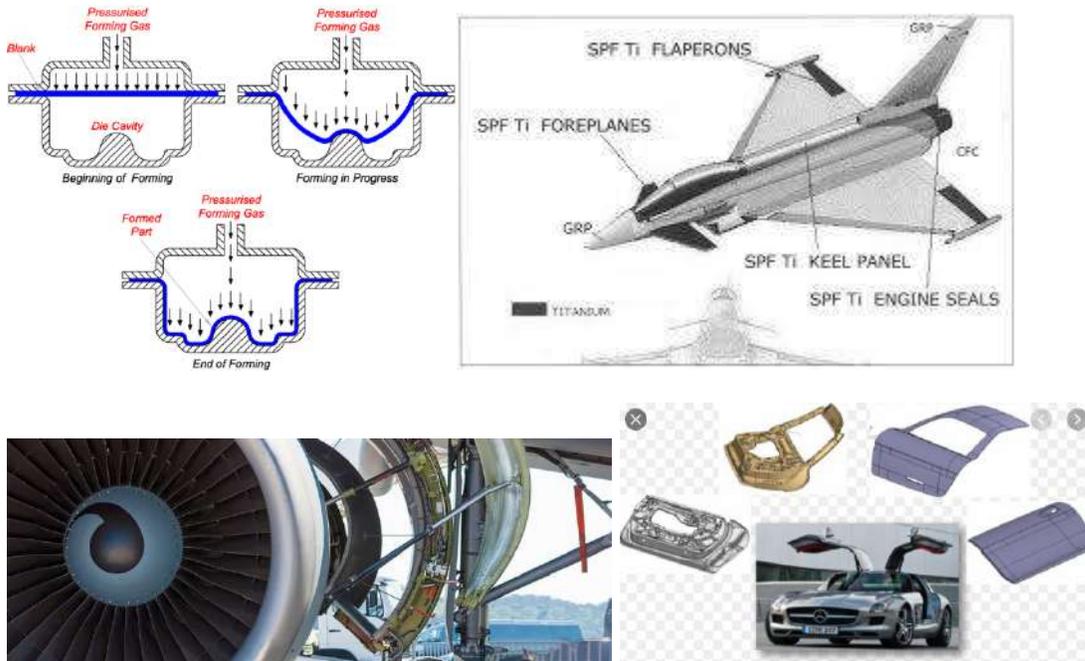
Untuk memahami mekanisme yang mengontrol deformasi plastis, analisis yang digunakan dengan persamaan berikut.

$$\dot{\epsilon} = A \left( \frac{b}{d} \right)^p \left( \frac{\sigma}{G} \right)^n \exp \left( - \frac{Q}{RT} \right)$$

di mana  $A$  adalah konstanta,  $\sigma$  adalah tegangan aliran,  $G$  adalah modulus geser,  $n$  adalah eksponen tegangan dan setara dengan kebalikan dari sensitivitas laju regangan  $m$  sebagai,  $b$  adalah vektor Burgers,  $d$  adalah ukuran butir,  $p$  adalah eksponen ukuran butir,  $Q$  adalah energi aktivasi untuk deformasi,  $R$  adalah konstanta gas, dan  $T$  adalah temperatur pengujian. Diketahui dengan baik bahwa deformasi superplastik adalah proses yang dikendalikan oleh difusi dan difasilitasi oleh pergeseran batas butir (GBS), di mana nilai  $n$  biasanya membutuhkan 2 (yaitu,  $m = 0,5$ ). Hasil plotting tegangan aliran maksimum laju regangan awal dalam hubungan logaritmik ganda didapat hubungan linier. Karena kemiringan sesuai dengan  $m$  dan berada dalam kisaran  $m \approx 0,33-0,42$ , ternyata hasilnya konsisten dengan sensitivitas laju regangan yang dilaporkan untuk superplastisitas yang dikendalikan oleh GBS. Meskipun sulit untuk mengevaluasi ketergantungan ukuran butir,  $p$ , karena pertumbuhan butir terjadi selama pengujian tarik termasuk pemanasan sebelum pengujian tarik dan pendinginan setelah pengujian tarik.

Dengan memperhitungkan  $D_{gb}$  dengan energi aktivasi untuk difusi batas butir,  $T = 673$  K,  $b = 0,250$  nm,  $G = 26,2$  GPa,  $\sigma = 10$  MPa dan  $A = 12$ , ternyata bahwa laju regangan adalah  $\sim 1 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Anil dari sampel yang diproses HPT menyebabkan pertumbuhan butir dari ukuran awal 240 nm setelah pemrosesan HPT ke ukuran  $\sim 500, 1000$  dan 1600 nm setelah anil pada 573, 673 dan 723 K selama 1 jam, masing-masing. Pertumbuhan butir terjadi terlepas dari temperatur anil tetapi masih dalam kisaran untuk menghasilkan aliran superplastik. Penghambatan pertumbuhan butir yang signifikan harus disebabkan oleh adanya elemen pengotor tambahan seperti Mn, Mg dan Fe yang menyebabkan pembentukan partikel fase kedua seperti  $\text{Al}_6\text{Mn}$ ,  $\text{Al}_2\text{Cu}$ ,  $\text{Al}_2\text{CuMg}$  dan  $\text{Al}_3\text{Fe}$  seperti yang terdeteksi dalam profil XRD. Pengamatan serupa tentang stabilitas pada temperatur tinggi dalam paduan Al-2024 dilaporkan oleh Vafaei et al. Penyelidikan mereka menggunakan Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) menunjukkan adanya

partikel fase kedua  $Al_{20}Cu_2Mn_3$ ,  $Al_{12}Mg_2Cr$  dan  $ZrAl_3$  yang menghambat terjadinya rekristalisasi statis dan pertumbuhan butir dalam paduan.



Aplikasi dari proses Superplastis

## Kesimpulan

1. Banyaknya fraksi intermetalik dapat terbentuk karena peningkatan difusivitas dan seiring dengan terbentuknya intermetalik, ukuran butir berkurang menjadi 20-40 nm dan kekerasan ditingkatkan mencapai 550-920 Hv pada konsolidasi serbuk Al-30%Ni. Koefisien difusi selama pemrosesan HPT meningkat  $1-10^{11}$  kali lebih tinggi daripada difusi kisi karena adanya banyak kekosongan, dislokasi dan batas butir.
2. Pada paduan Al-Zn menunjukkan fenomena yang berbalik dengan teorema Hill-Petch, ukuran butir berkurang mencapai ukuran  $\sim 190$  nm, sedangkan kekerasan menurun dari 182 Hv ke 28 Hv dan kekerasan meningkat setelah anil meskipun terjadi peningkatan ukuran butir. Pemrosesan HPT mereduksi ukuran butir dan mengakibatkan dekomposisi unsur dari paduan jenuh. Presipitasi Zn juga terbentuk dalam butiran kaya Al setelah pemrosesan HPT, sementara fraksinya berkurang secara signifikan setelah anil. Dekomposisi spinodal dan pembentukan struktur lamelar berukuran nano terjadi pada sampel yang diberi perlakuan larutan, tetapi struktur lamelar dihancurkan oleh pemrosesan HPT.

Dekomposisi spinodal terjadi kembali pada sampel yang diproses HPT setelah anil berikutnya dengan membentuk lamellae berukuran nano.

3. Pemrosesan HPT menghasilkan elongasi maksimum  $\sim 750\%$  pada Al-2024 dengan laju regangan awal  $2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$  pada 673 K. Penghitungan energi aktivasi,  $Q$ , untuk deformasi adalah  $\sim 73 \text{ kJ / mol}$  yang sebanding dengan energi aktivasi untuk difusi batas butir di Al ( $72,2 \text{ kJ / mol}$ ) dan sensitivitas laju regangan,  $m$ , adalah  $\sim 0,44$  (setara dengan eksponen tegangan  $n \sim 2$ ) yang mendekati nilai yang disarankan untuk pergeseran batas butir dalam superplastisitas. Deformasi superplastik dari paduan Al-Cu dikontrol oleh pergeseran batas butir melalui difusi batas butir.

### **Ucapan Terima Kasih**

Sebelum menutup pidato pengukuhan ini, perkenankan saya mengucapkan rasa syukur atas berkat dan rahmat Allah SWT yang telah memberi banyak kemudahan, kesempatan untuk menjalankan amanah yang diberikan yaitu jabatan sebagai Guru Besar Bidang Ilmu Bahan pada Fakultas Teknik universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Semoga jabatan ini bisa memberi motivasi untuk diri saya sendiri dalam berkarya dan juga kolega dosen untuk berpacu meraih jabatan yang sama.

Pada kesempatan ini, ijin saya mengucapkan terima kasih kepada sesepuh untirta Prof. Dr. H. Sholeh hidayat, M.Pd yang telah saya anggap sebagai orang tua yang selalu memotivasi dan mendorong dalam perjalanan karir di untirta. Bapak Rektor Prof. Dr. Fatah Sulaiman, ST.,MT yang telah memfasilitasi dalam perjalanan meraih guru besar dan kolega satu angkatan guru besar sekaligus dekan Prof. Dr. Asep Ridwan, ST., MT. Saya juga ingin haturkan terima kasih pada dosen saya sekaligus reviewer eksternal Prof. Dr. Dedi Priadi, DEA dari Universitas Indonesia dan Kolega dosen di BKSPNTN sekaligus reviewer eksternal Prof. Dr.Eng.Munarwan, M.Eng dari universitas Andalas Padang. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada, ketua dan anggota senat univeritas dan fakultas Teknik periode 2015-2019 yang telah menyetujui dalam usulan jabatan guru besar.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan ke Jajaran Dekanat Periode 2015-2019, Ketua Jurusan Teknik Metalurgi, Teman-teman kolega dekan 2015-2019. Terima kasih juga ke seluruh jajaran kepegawaian yang terus memantau perkembangan pengajuan kepangkatan seluruh dosen.

## **Ketua dan anggota majlis Guru Besar**

Menjadi Guru besar adalah sebuah perjalanan panjang bagi seorang dosen, dan ini tidak pernah terbayangkan dalam kehidupan saya sebelumnya. Perjuangan, doa kedua orang tua telah mengantarkan sebuah perjalanan yang panjang dan disaat sudah seperti ini beliau telah meninggalkan tanpa tahu yang sekarang terjadi. Semoga amal ibadah kedua orang tua menjadi pahala kedua orang tuaku dan jalan ke SurgaNya. Ucapan terima kasih juga saya haturkan kepada almarhum mertua saya Bapak H. Supardi yang bulan november lalu baru saja meninggal kami, juga terima kasih kepada Ibu mertua Ibu Hj. Siti Maria atas bimbingan dan doanya sehingga kami berhasil seperti sekarang ini. Semoga Allah memberikan pahala kepada kedua orang tua kami.

Terima kasih yang setulus dan terdalam juga saya persembahkan kepada istriku tercinta Siti zaitun yang dengan penuh pengertian, kesabaran dan kesetiaan mendampingi dalam perjalanan hidup sampai sekarang ini. Kepada anaku yang tercinta si cantiku Rahma putri Azelia dan si gantengku Ilham Haiqal Ali, ayah ucapkan terima kasih dan mohon maaf barangkali ada hal yang telah ayah lupakan dalam membimbing kalian. Ayah berdoa dan berharap semoga anak-anaku menjadi putra-putri yang sholeh dan sholehah yang berguna bagi Agama, Nusa dan bangsa.

Ucapan terima kasih juga saya ucapkan kepada mbakyu Sri harningsih, Johan Abdul aziz (alm), Afif amir amrullah, adikku Sri endang sulistyowati dan heri eko purnomo yang selalu memotivasi dan mendoakan kami.

Demikian pidato pengukuhan yang saya sampaikan, terima kasih atas segala perhatian dan mohon maaf atas segala kekurangan.

Billahitaufiq walhidayah wassalamualaikum wr.wb.

Wasslamualaikum warrahmatullahi wabarokatuh.

## **Daftar Pustaka**

A.P. Zhilyaev, T.G. Langdon, (2008). Using high-pressure torsion for metal processing: Fundamentals and applications. *Progress Materials Science* 53 : 893-979.

K. Edalati, S. Toh, M. Watanabe dan Z. Horita (2012). In situ production of bulk intermetallic-based nanocomposites and nanostructured intermetallics by high-pressure torsion. *Scripta Materialia* 6: Pp. 386–389

- K. Edalati, Z. Horita (2011). Significance of homologous temperature in softening behavior and grain size of pure metals processed by high-pressure torsion. *Materials Science and Engineering A 528* : Pp. 7514– 7523.
- A.A. Mazilkin, B.B. Straumal, M.V. Borodachenkova, R.Z. Valiev, O.A. Kogtenkova, B. Baretzky (2012). Gradual softening of Al–Zn alloys during high-pressure torsion *Materials Letter 84*: Pp. 63-65.
- H. Mehrer (1990). Numerical Data and Functional Relationship in Science and Technology, Diffusion in Solid Metals and Alloys, vol. 26, Berlin, Springer.
- A. Azushima, R. Kopp, A. Korhonen, D.Y. Yang, F. Micari, G.D. Lahoti, P. Groche, J. Yanagimoto, N. Tsuji, A. Rosochowski, A. Yanagida (2008). Severe plastic deformation (SPD) processes for metals. *CIRP Annals-Manufacturing Technology 57* : Pp 716-735.

## CURRICULUM VITAE

### 1. Identitas

1	Nama Lengkap	:	A. Ali Alhamidi
2	Jenis Kelamin	:	Laki-laki
3	Jabatan fungsional	:	Profesor
4	NIP	:	197312131999031001
5	NIDN	:	0013127303
6	Scopus ID/H-Index	:	
7	Tempat tanggal lahir	:	Tegal, 13 Desember 1973
8	Email	:	<a href="mailto:alhamidi@untirta.ac.id">alhamidi@untirta.ac.id</a>
9	Alamat Rumah	:	Cluster Houston 1&2 B-5, Banjar Agung, Cipocok Jaya, Kota Serang Baru
10	Phone	:	081285058650
11	Mata Kuliah yang diampu	:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Perlakuan panas dan Rekayasa Permukaan</li> <li>2. Teknik Pembentukan Logam</li> <li>3. Mekanika Kekuatan Material</li> <li>4. Material Superplastis</li> </ol>
12	Istri	:	Siti Zaitun, S.Pd
13	Anak	:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Rahma Putri Azelia</li> <li>2. Ilham Haiqal Ali</li> </ol>

### 2. Pendidikan

2014	Doctor of Engineering (Dr. Eng) in Material Science engineering (Field of study: Ultrafine grain Structure)	Kyushu University, Japan	(Desertation: Production of Ultrafine-Grained Aluminum Alloys with with Unusual Mechanical Properties Using High-Pressure Torsion).
2003	Master of Engineering in Metallurgy, Depart. of metallurgy, Eng. faculty.	Universitas Indonesia, Depok	(Thesis: Stretchability and deep drawability of Cu-Zn after processed by hot rolling).
1997	Bachelor degree in Mech.I engineering- Depart. of Mechanical Engineering,	UM-Surabaya	superheater analysis of sugar factory steam boiler capacity of 10 tons/hour

### 3. Publikasi

1	Grain refinement and high strain rate superplasticity in aluminium 2024 alloy processed by high-pressure torsion”	Materials Science & Engineering A 622 (2015) 139–145.
2	”Influence of severe plastic deformation at cryogenic temperature on grain refinement and softening of pure metals: Investigation using high-pressure torsion”	Materials Science & Engineering A, 613(2014)103–110.
3	”Application of high-pressure torsion to Al-6%Cu-0.4%Zr for ultrafine-grains refinement and superplasticity”	Journal of Materials Science (2014) 49:6689–6695
4	”Softening by Severe Plastic Deformation and Hardening by Annealing of Aluminum-Zinc Alloy: Significance of Elemental and Spinodal Decompositions”	Materials Science & Engineering A610(2014)17–27.
5	”Effect of temperature on solid-state formation of bulk nanograined intermetallic Al <sub>3</sub> Ni during high-pressure torsion”	Philosophical Magazine 94(9) (2014) 876-887
6	”Formation of Bulk nanostructured Al <sub>3</sub> Ni from Elemental Micropowders Using High-Pressure Torsion”	Materials Science Forum, 765 (2013) 378-382..
7	”Production of Nanograined Al <sub>3</sub> Ni from Elemental Micro-Powders Using High-Pressure Torsion”	Proc. of International Workshop on Bulk Nano structured Metals (BNM), (2012) 76-78, Kyoto University.
8	”Production of Nanograined Intermetallics Using High-Pressure Torsion”.	Materials Research, 16, No. 3 (2013) 672-678.
9	”Application of Polyvinil Alcohol (PVA) for quenchant in AISI 1045 on mechanical properties, microstructure and distortion”.	J. Reintek Vol.3 No 2, (Des. 2008) 298-368.
10	”Impact of severe plastic deformation on microstructure and hydrogen storage of titanium-iron-manganese intermetallics”	Proc. Metallurgical Research Seminar (2008), 74-78.
11	”Comparison of the Quench Media Polyvinil Alcohol (PVA) and Water on hardness properties and microstructure of Al-1,5% Mg-7%	Scripta materialia 124: 108-111 (nov.2016).

	Si as-cast.	
12	"Experimental studies and analysis mechanical properties of Al-6Si-4Cu-0,4Mg alloy"	J. Teknik, Vol. 5 No.2 (2009).
13	Characterization of Al-Si-Cu-Mg with the addition of 6%Si-4%Cu-37%Mg and Heat treatment for Automotive Components".	J. Research, LPPM Untirta, Vol.1 (17 February 2010).
14	"Apatit formability of Stainless Steel 316L post-solutioned NaOH treatment for implantation: Initial characterisation by XRD".	Proc. Metalurgy and materials conference (2010).
15	"Influence of Accumulative roll bonding (ARB) processing on microstructure and mechanical properties of AA6061".	Proceeding ICWMST (INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATERIALS SCIENCE & TECHNOLOGY),Batan,Jul-2019.
16	"Microstrural and mechanical Properties Al 6061 processed by cold rolling and aging"..	Jurnal Vanos, Vol.3 No.1, 2018, Nasional DOAJ dalam B. Inggris.
17	"Karakteristik Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro TotalKnee Joint Dari Paduan Co-26Cr-6Mo-0,18N Hasil Pengerjaan Panas".	Metalurgi LIPI (2019) 1:1- 8
18	"Produksi hidrogen melalui reaksi komposit Al/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> hasil canai dingin dengan Larutan NaOH"..	Jurnal Rotasi, Vol.21 no.. 2 april 2019.
19	"Karakterisasi Karbon Aktif Dari Bulu Ayam Untuk Bahan Penyimpan Gas Hidrogen ( <i>Hydrogen Storage</i> )".	Jurnal ROTASI UNDIP, Vol. 21 No. 1 (Januari 2019).
20	"Pengaruh Parameter Terkontrol Pada Proses Accumulative Roll Bonding (ARB) Terhadap Sifat Mekanik Dan Mikrostruktur Aluminium Seri 6 (AA6061)".	Flywheel: Jurnal Teknik Mesin Untirta Vol. IV, No. 2, Oktober 2018, hal. 68 - 73; 54.
21	"Pengaruh komposisi Zn dan Sn pada paduan Al-Sn-Zn terhadap produksi hydrogen melalui reaksi hasil canai dingin dengan NaOH".	Flywheel: Jurnal Teknik Mesin Untirta Vol. V, No.1, April 2019, hal. 68 - 73; 54.
22	"Increasing quality productand capacity discs production of coins by tempered treatment and TIN PVD coating in isodur steel".	Journal Advanced Materials Research/AMR2016.
23	"Effect of quenching medium on the microstructure of hot rolled Ti-6Al-6Nb alloy for medical	AIP conference proceeding 1964, 020045 (2018).

	application”.	
24	“Influence of high-pressure torsion on formation/destruction of nano-size spinodal structures “.	AIP conference proceeding 1945, 20061 (2018).
25	“Influence of solution treatment cooling medium on microstructure and elastic modulus Ti-6Al-6Mo for biomedic applications”.	AIP conference proceeding 1964, 020049 (2018).
26	“Pengaruh tebal blank dan viskositas pelumas terhadap nilai stretchability dan kekerasan dinding kubah baja DDQ SPCE-SD”.	Prosiding SEMNAS Industrial Services SNIS Vol.1 No. 1,2015
27	“Pengaruh temperature sintering terhadap komposit (TiC-25NiCr) dan(Ti <sub>1,7</sub> ,Mo <sub>0,3</sub> )17C-25NiCr hasil pemaduan mekanik menggunakan metode planetary ball mill”.	Jurnal Nasional Teknik Vol.11 No.2 Desember 2015-1.
28	Karakteristik Paduan Aluminium AA 5052 hasil proses friction stir processing (FSP).	Jurnal JRM Unsri
29	Proses Quenching and Partitioning (Q&P) Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon Medium,	Jurnal Rekayasa Mesin Vol.15, No.2, Agustus 2020, hal. 118-125, Sinta 4,

#### 4. Keanggotaan

1	The Japan Institute of Light Metal (JILM)
2	The Japan Institute of Metals and Materials (JIM)
3	International Institute Carbon Neutral Energy Research (I2CNER) from October 2011-2014.
4	Persatuan Insinyur Indonesia (PII)

#### 5. Penghargaan

1	Beginner researcher (Dosen Muda), 2008, DIKTI
2	Competitive research (Hibah bersaing), 2009, DIKTI
3	Beginner researcher (Dosen Muda), 2010, DIKTI
4	Directorate General of Higher Education of Indonesia, Scholarships for Master program (2000-2003).
5	Directorate General of Higher Education of Indonesia, Scholarships for Doctoral program (2011-presents).
6	The Light Metal Educational Foundation, Japan, Scholarships for 6th International Light Metal Technology Conference (LMT), Old Windsor, UK.
8	Satya Lencana 10 tahun dan 20 tahun
9	HKI, sertifikat_EC00202015944, 20 Mei 2020

10	HKI, sertifikat_EC00202052355, 23 November 2020
----	---

## 6. Pelatihan

1	Workshop reviewer penelitian Internasional, Quantum HRM
2	Workshop Inaternasional Accreditation Board Engineering (IABE), UGM
3	Asesor BNSP Kementerian Perindustrian
4	Asesor BAP S/M
5	Asesor Serdos dari Direktorat Sumber Daya Kemendikbud
6	Total Quality Management (TQM) oleh PII kejuruan Teknik Mesin
7	Training course in Institut Science de l'energie Supramoleculaire, University of Starbourg, France.

## 7. Seminar Internasional/Nasional, Pengabdian Masyarakat

1	Seminar and lecture research	Vicon, FT- Untirta, Des 19, 2014, Indonesia
2	The 154th Spring Annual Meeting, (March 21-23, 2014)	Tokyo Institute of Technology, The Ookayama campus, Japan.
3	The 125th Fall Conference of the Japan Institute of Light Metal (JILM), (Nov. 9-10, 2013)	Yokohama National University, Tokiwadai Campus, Japan.
4	The 124th at Conference of Japan Institute of Light Metal (JILM), (May 18-19, 2013)	Toyama University, Japan
5	The 2013 Fall Annual (153rd) Meeting of the Japan Institute of Metals and Materials (JIM), (Sept. 17-19)	Kanazawa University, Japan
6	The 123rd Conference of Japan Institute of Light Metals (JILM), (Nov.10-11, 2012)	Chiba Institute of Technology, Japan.
7	The 2012 Fall annual meeting program of the Japan Institute of Metals (JIM), (Sep.16-19, 2012),	Ehime, Matsuyama University, Japan
8	The 2012 Joint Conference of the Japan Institute of Metals (JIM), (June 9-10, 2012)	Kitakyushu University, Japan.
9	The 122nd Conference of Japan Institute of Light Metal (JILM), (May 19-20, 2012),	Kyushu University, Fukuoka, Japan.
10	Metallurgy and Materials National conference (SENNAM)	FT-Untirta, Cilegon, (2010), Indonesia.
11	Scientific meeting in Metallurgy	The Indonesia Institute of Science (LIPI), Serpong, 2008, Indonesia

12	Seminar and lecture research	FT- Untirta, 2010, Indonesia.
13	International Workshop on Bulk Nano structured Metals (BNM), (June 26-29, 2012)	Kyoto University, Japan.
14	6th International Light Metal Technology Conference (LMT), (July 24–26, 2013),	Old Windsor, United kingdom (UK)
15	TMS 2014, 143 <sup>rd</sup> annual meeting and exhibition	Sandiago, USA, 16-20 February 2014
16	The 14th International Conference on QiR (Quality in Research), 10 - 13 Agustus 2015.	Lombok, Nusa Tenggara barat
17	Reviewer Journal Internasional Bereputasi (Q1) "Metals and Materials Internasional"	Paper : Microstructural and Mechanical Properties of a Material Processed by Streamline Proposed Vortex Extrusion Die, 2020. DOI: <a href="https://doi.org/10.1007/s12540-020-00851-1">10.1007/s12540-020-00851-1</a>
18	Mitra Bestari	Jurnal Rekayasa Mesin Jurusan Teknik Mesin Unsri.

## 8. Buku

1	Severe Plastic Deformation: Jenis, proses dan aplikasinya.	Untirta Press 2019
---	--	--------------------