

Analisis Tegangan Sisa Pada Proses *Quenching* Baja Pegas Daun

Priyagung Hartono¹⁾, Artono Rahardjo¹⁾, Ibrahim³⁾,

^{1,2}Dosen Program Sarjana Jurusan Teknik Mesin, Universitas Islam Malang Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, ³Mahasiswa Program Sarjana Jurusan Teknik Mesin, Universitas Islam Malang.
Jalan MT. Haryono 193, Malang.

priyagung@unisma.ac.id

artonor@unisma.ac.id

sangpembelajar140496@gmail.com

Abstrak

Analisis tegangan sisa pada proses *quenching* baja pegas daun. Telah dilakukan penelitian baja pegas daun yang di *heat treatment* pada suhu awal 500°C ditahan selama 20 menit, lalu di *hardening* hingga mencapai fasa *austenit* pada suhu 950°C ditahan selama 40 menit. Kemudian salah satu sampel langsung di uji *x ray diffraction* sebagai parameter kisi awal d_0 dan sampel selanjutnya di *quenching* menggunakan media pendingin air dengan suhu 25°C dan di *normalizing* dengan suhu ruang 27°C. Identifikasi tegangan sisa dilakukan dengan sinar-X. Pengukuran struktur kisi dan pembuatan difaktogram menggunakan alat XPERT-PRO menggunakan Sumber *copper* Cu dengan panjang gelombang 1.54060μm, tegangan 40 mA, Arus 35 Kv. Analisis difaktogram menunjukkan beberapa puncak difraksi. Pada baja pegas daun tanpa perlakuan $2\theta = 44.5711^\circ, 64.8230^\circ, 82.1580^\circ$. Analisis difaktogram dari hasil *quenching* air memperlihatkan $2\theta = 41.8201^\circ, 44.4943^\circ, 82.2747^\circ$ dan difaktogram proses *normalizing* udara $2\theta = 33.0817^\circ, 39.1981^\circ, 71.8683^\circ$. Dari difaktogram memperlihatkan bahwa pendinginan menggunakan air dan udara menyebabkan tegangan tarik karena pergeseran puncak difraksi ke arah 2θ . Tegangan sisa tarik pada media pendingin air sebesar 0,13353 kN/mm² dan udara 0.0121 kN/mm². Hasil analisis tegangan sisa menunjukkan regangan kisi pada baja pegas daun dengan pergeseran bidang kisi kristal karena metoda proses pemanasan dan pendinginan, dimana pada baja pegas daun hasil *heat treatment* meningkatkan kekuatan bahan akan tetapi memiliki kecenderungan terjadi deformasi yang menyebabkan terjadi tegangan sisa.

Kata kunci: Baja Pegas Daun, Difraksi Sinar-X, Tegangan Sisa.

A Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan teknologi, penggunaan baja pegas daun banyak dipakai pada bidang otomotif seperti pegas pada mobil dan motor terutama pada kendaraan roda empat. Penggunaan baja pegas daun dipakai untuk menahan berat

kendaraan pada setiap sisi daerah belakang dan depan. Efek dari penggunaan baja pegas daun menyebabkan struktur logam terpengaruh oleh gaya luar berupa tegangan, tarikan, perlakuan panas dan gesekan yang mengakibatkan deformasi atau perubahan bentuk. Proses *heat*

treatment pada baja pegas daun ialah dipanaskan dengan suhu, media tertentu, dan ditahan waktu tertentu. *Heat treatment* mempunyai tujuan diantaranya untuk menaikkan nilai keuletan dan melembutkan butir-butir kristal agar tercapai seperti apa yang diharapkan dengan memperhatikan parameter pada suhu pemanasan.

Hal penting dari proses *heat treatment* adalah pemanasan, waktu ditahan pada saat pemanasan, dan media *quenching*. Kecepatan pendinginan tergantung dari jenis pendinginan yang digunakan. Diasumsikan ketika panas pada suhu yang telah ditentukan, maka proses *heat treatment* tersebut selesai. Salah satu jenis pendinginan ialah proses *quenching*, Metode *quenching* ialah mencelupkan baja yang telah di *heat treatment* dan sampai fasa *austenit* ke dalam tempat yang berisi pendingin maka panas baja akan tersalurkan ke media yang digunakan sebagai pendingin dan akan terjadi kenaikan kekerasan karena perubahan struktur pada baja tersebut. *Quenching* ialah perlakuan panas yang pada proses *quenching* mempunyai cara yaitu material yang di *quenching* harus seketika didinginkan dengan air atau pelumas. Cepatnya pendinginan dimaksudkan untuk mendapatkan nilai kekerasan yang tinggi dan mencapai fasa *martensit*. Bahan pendingin yang dipakai *quenching* umumnya adalah oli, gas, dan air. Air mempunyai viskositas $1,79 \times 10^{-3}$ pada suhu 0°C . Penggunaan air sebagai pendingin menyebabkan munculnya karbon pada selaput spesimen disebabkan besarnya viskositas. Atas hal tersebut, untuk mengetahui *internal stress* dari sifat baja pegas daun maka peneliti memilih menggunakan *heat treatment* metode *quenching* dengan pendinginan air dan udara. Perubahan sifat material baja diketahui dengan melakukan uji *x-ray*

diffraction. Mengingat sangat banyak jenis material dan instrumen pendingin maka dibatasi baja pegas daun (SUP 9) yang mengandung unsur Fe= 97,52% C= 0,50-60% P= 0,035% S= 0,035% Si= 0,15-35% Mn= 0,65-95% Cr= 0,65-95%. Serta media pendingin dan air dan udara. Alasan memilih media pendingin ini adalah kadar viskositas yang ada pada media pendingin tersebut. Penggunaan air dan udara sebagai pendingin akan menimbulkan perbedaan munculnya selaput karbon pada baja tergantung banyaknya viskositas pada pelumas.

Pada proses *quenching* perubahan kisi material terjadi akibat media pendingin yang digunakan. Secara umum perubahan kisi material terbentuk akibat karakteristik media pendingin yang digunakan. Dalam pengaplikasiannya bentuk cacat yang merugikan akibat proses *heat treatment* adalah deformasi bentuk setelah pendinginan selesai dan pemanasan pada tungku *furnace*. Baja pegas daun akan terkena pengaruh dari proses *quenching* yang berupa tegangan tekan dan tegangan tarik. Deformasi akibat pendinginan yang cepat menyebabkan tegangan internal yang mengalami perubahan signifikan dalam sifat mekanik bahan. Selama proses *heat treatment* kemungkinan distribusi tegangan dalam bahan berubah. Energi peregangan pada material menyebabkan tidak homogen pada struktur mikronya yang menyebabkan *internal stress* yang disebut tegangan sisa. Tegangan sisa pada material akibat pada proses *heat treatment* akan nampak dengan berubahnya jarak bidang kristal meskipun tanpa beban dari luar. Tegangan sisa ini juga terbentuk karena ketidakcocokan ekspansi fasa *austeni* dan *martensit* yang mengalami tegangan tarik dan tekan. Perubahan ini dapat dilihat dengan pengujian difraksi sinar-X.

Teknik pengujian sinar-X sangat penting pada penelitian terutama tegangan sisa karena tidak merusak bahan. Metoda ini juga dapat digunakan untuk mengetahui tegangan sisa pada baja pegas daun akibat proses pemanasan yang didasarkan pada penentuan tinggi difraksi. Apabila tinggi puncak difraksi ke arah 2θ mengecil maka tegangan sisanya adalah tegangan tarik dan apabila tinggi daripada puncak difraksi ke arah 2θ lebih besar maka tegangan yang terjadi tegangan tekan. Dengan mengetahui puncak difraksi dan pelebaran puncak maka diperoleh regangan kisi. Dari regangan, tegangan sisa dapat dihitung.

Pada penelitian ini dibatasi pada baja pegas daun yang di *heat treatment* pada pemanasan awal 500°C dengan waktu 20 menit, lalu suhu dinaikkan sampai fasa *austenisi* 950°C selama 40 menit, dan *diquenching* dengan instrument perangkat pendingin air dan udara. Pengujian yang dilakukan adalah uji tegangan sisa menggunakan alat *X-ray diffraction*.

B Dasar Teori

Baja pegas daun (SUP 9) umumnya sering digunakan pada kendaraan. Terutama kendaraan motor, mobil dan truk. Pada penggunaan baja pegas sebagai suspensi kendaraan masih sering dipakai dimana $\pm 85\%$ kendaraan darat menggunakan suspensi baja pegas daun, terutama truk karena masih menggunakan baja pegas daun pada bagian belakang dan depan sebagai penahan beban

Materia baja pegas daun memiliki muatan sekitar 97% Fe dan kandungan 0,3% hingga 0,6% karbon. Selain unsur Fe dan karbon, material (SUP9) mempunyai unsur campuran seperti Si, S, P, Mn, Cr, Mo, V, Ti, Sn, Al, Pb, Sb, Cu, W, dan Zn dengan sejumlah persentasi yang tidak sama. Baja pegas daun terbentuk dari sejumlah plat-plat

(seperti daun). Pegas daun ini biasanya mempunyai ciri dilengkunkan. Saat baja pegas daun diberikan gaya dari luar maka kisi kristal terganggu sehingga merubah jarak antar atom. Perubahan itu menunjukkan besaran regangan, yang dapat diukur dengan teknik difraksi. Tegangan sisa tersebut dihitung dari regangan jarak antar atom tersebut.

Tegangan internal dapat diamati fenomena struktur kisi pada suatu kristal. Tegangan sisa berbanding langsung dengan regangan elastik kisi yang menyusun bahan kristal. Besaran regangan dapat dihitung menggunakan hukum Bragg,

$$n\lambda = 2 d_{hkl} \sin \lambda \dots\dots\dots (1.1)$$

d_{hkl} = jarak bidang kisi kristal

n = urutan difraksi

λ = sudut difraksi

Setelah panjang pengukuran kisi tersedia, maka regangan rata-rata didapatkan. Regangan kisi ditentukan dengan penarikan kesimpulan dari proses penalaran. Penelitian baja pegas daun dilakukan dengan tekanan dan keadaan hidrostatik. Tegangan hidrostatik sama dengan regangan hidrostatik dapat dirumuskan.

$$\sigma = \left(\frac{E}{1-2\nu} \right) \epsilon_{av} \dots\dots\dots (1.2)$$

dimana,

σ = tegangan hidrostatik

E = Modulus young

ν = rasio Poison

ϵ_{av} = regangan kisi

Keadaan tegangan hidrostatik ϵ_{av} dihitung pada seluruh arah. Untuk fasa austenit persamaan menjadi $\epsilon_{av} = \epsilon_a$, dan untuk rata-ratanya ialah regangan kisi. Dimana $\epsilon = \frac{d-d_0}{d_0}$

$$\text{dapat dianalogikan menjadi } \epsilon = \frac{a-a_0}{a} \dots\dots\dots (1.3)$$

C Metedologi Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Untuk menguji secara eksperimental analisis tegangan sisa pada proses *quenching* baja pegas daun. Material

yang digunakan mengandung unsur Fe= 97,52% C= 0,50-60% P= 0,035% S= 0,035% Si= 0,15-35% Mn= 0,65-95% Cr= 0,65-95%. Sampel baja (SUP9) dipotong menggunakan pemotong dengan panjang 25 mm, lebar 25 mm, tinggi 3 mm, sejumlah 3 sampel.

Proses perlakuan panas dilakukan pada pemanasan yang diawali pada suhu 500°C ditahan selama 20 menit lalu suhu dinaikkan sampai fasa *austenisi* 950°C dan ditahan selama 40 menit, lalu di*quenching* dengan media pendingin air dan di udara(*normalizing*). *Normalizing* adalah proses *heat treatment* yang didinginkan diruang terbuka.

Setelah proses *quenching* dan *normalizing* kemudian dilakukan uji *x ray diffraction* untuk mengetahui puncak difraksi yang terjadi. Data yang didapat kemudian di analisis untuk mendapatkan kesimpulan penelitian. Jenis difraktometer sinar-X yang dipakai adalah Diffractometer XPERT-PRO yang berada di Universitas Negeri Malang, menggunakan Sumber *copper* Cu dengan panjang gelombang = 1.54060 μ m.

- Langkah awal pengukuran yaitu menentukan sinar datang dan sinar terdifraksi. Selanjutnya mengamati puncak-puncak difraksi dari sudut 2θ antara 10° sampai 90°.
- Pengukuran d_0 menggunakan baja pegas daun tanpa perlakuan *heat treatment*.
- Pengukuran *x ray diffraction* dengan Kondisi pengukuran : Tegangan 40 mA, arus 35 Kv. celah divergensi 0.957°, panjang spesimen 20.00 mm, celah penerima 0.100 mm, waktu cacah ± 46 min.

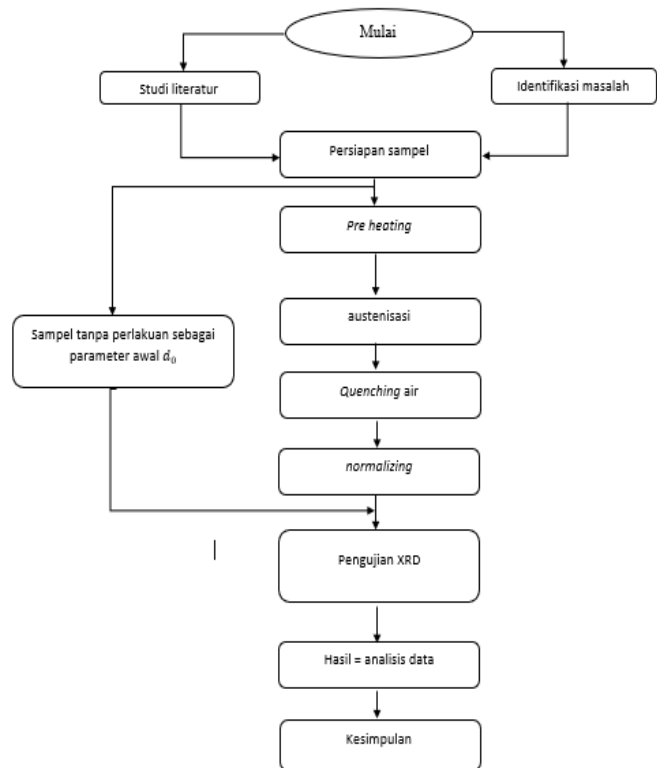


Diagram Alir Penelitian

D Hasil Penelitian

Untuk mengetahui tegangan sisa yang terjadi maka salah satu spesimen tidak dilakukan proses *heat treatment* sebagai parameter awal. Selanjutnya, spesimen lainnya dilakukan *heat treatment* dengan suhu awal 500°C ditahan selama 20 menit, lalu di *hardening* hingga mencapai suhu 950°C ditahan selama 40 menit. Kemudian di*quenching* menggunakan instrument pendingin air pada suhu 25°C dan instrument pendingin udara pada suhu 27°C. Pada pengujian tegangan sisa digunakan alat *X-ray diffraction* untuk mengetahui puncak difraksi.

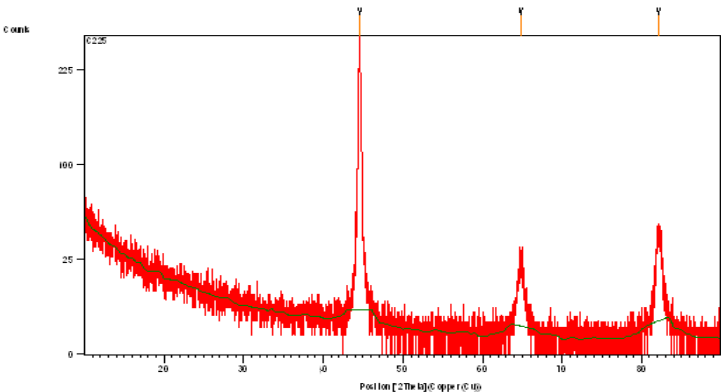
Adapun hasil penelitian ini melalui empat tahap yaitu preparasi spesimen, perlakuan *heat treatment* terhadap spesimen, variasi media *quenching*, dan analisis tegangan sisa menggunakan *x-ray diffraction*.

- Pola difraksi baja pegas daun tanpa *heat treatment*

Karakteristik XRD diamati untuk mengetahui dan menentukan ukuran dan struktur kristal pada material. Tegangan sisa diketahui dengan cara membandingkan puncak difraksi. Dibawah ini adalah gambar pola difraksi dari baja pegas daun tanpa *heat treatment* hasil *X-ray diffraction*.

Peak List Graphics

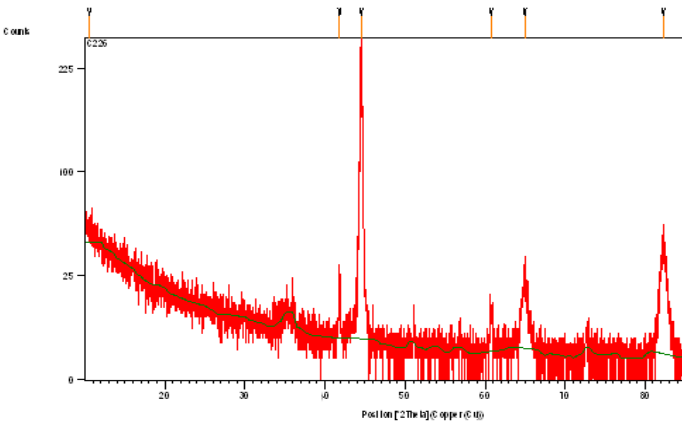
Gambar 1 Difraktometer Tanpa Perlakuan



- b. Pola difraksi baja pegas daun media pendingin air
Berikut adalah gambar pola difraksi dari baja pegas daun dengan*heat treatment* 950°C dengan media *quenching* air hasil *X-ray diffraction*.

Peak List Grapics :

Gambar 2 Difraktometer Pendinginan Air



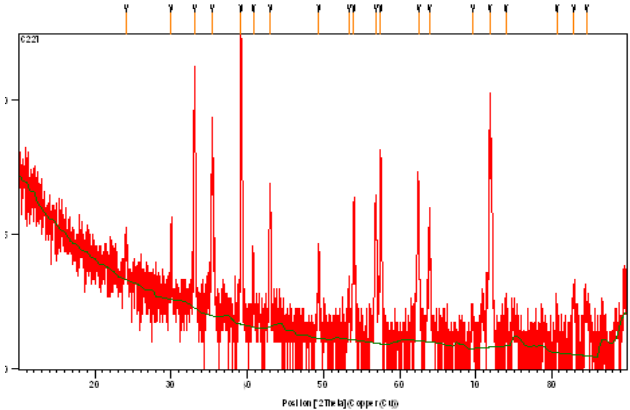
- c. Pola difraksi baja pegas daun media pendingin udara

Berikut adalah gambar pola difraksi dari baja pegas daun dengan *heat treatment* 950°C dengan media *quenching* udara hasil *X-ray diffraction*.

Tabel 4.3 Pengambilan Data Baja Pegas Daun Pendinginan Udara

Peak List Graphics

Gambar 3 Difraktometer Pendingin udara



Identifikasi awal kehadiran tegangan sisa dalam bahan dapat dilihat pada pelebaran dan pergeseran puncak bidang kristal baja pegas daun dalam pola difraksi pada gambar diamati dengan ditunjukkannya pergeseran puncak serta pelebaran puncak difraksi ialah kekuatan peregangan bidang kristal. Pergeseran dan pelebaran puncak dapat disusun pada tabel berikut.

Tabel 1.1 Pergeseran Puncak dan pelebaran Difrraction Pada *X-Ray Diffraction*

No	Sam pel	Pergeseran puncak 2θ(°)			Pelebaran puncak FWHM[°2Th.		
					I		
1	Tanp a perla kuan	44.	82.	82.	0.	0.	0.
		57	15	15	27	86	86
		11	80	80	55	59	40
2	Pend ingin	41.	44.	82.	0.	0.	0.
		82	49	27	23	35	96
		01	43	47	62	42	00

	an air						
3	Pendingin an udara	33. 08 17	39. 19 81	71. 86 83	0. 13 78	0. 11 81	0. 15 74

Dari gambar dan tabel memperlihatkan difraktogram untuk. Sampel baja pegas daun. Pada baja tanpa perlakuan terdapat tiga puncak difraksi yaitu masing-masing pada sudut $2\theta = 44.5711^\circ, 82.1580^\circ$ dan 82.1580° . Difraktogram ini dalam analisis digunakan sebagai referensi awal untuk mendapatkan parameter d_0 . Dan jarak antar bidang tidak terpengaruh proses *heat treatment*.

Pada gambar 1-3 memperlihatkan puncak difraksi baja pegas daun. Saat bahan di *quenching* memperlihatkan puncak tertinggi 39.38° dan intensitas maksimal 1.17091%. pergeseran puncak difraksi ini terjadi akibat perlakuan panas hingga fasa *austenit* lalu didinginkan dengan air sehingga meningkatkan kekuatan mekanik bahan. Fenomena ini juga terjadi pada pendinginan udara dengan puncak tertinggi 147.62° intensitas maksimal 100.00%. Pada gambar 2 menunjukkan puncak difraksi menurun disebabkan energi perengangan rata-rata yang mengakibatkan kekuatan bahan menjadi berkurang.

Parameter puncak dan kisi pada baja pegas daun setelah mengalami *heat treatment* mengalami variasi dari sampel air dan udara. Parameter puncak difraksi mengalami pergeseran ke arah kiri yang menandakan adanya perubahan struktur kisi akibat *heat treatment*. Pada puncak difraksi terjadi regangan tarik yang menimbulkan retak diakibatkan pendinginan yang cepat. Pada sistem analisis *x-ray diffraction* parameter kisi dapat langsung diketahui pada struktur

baja yang mengalami *quenching* air dan udara.

Tabel 1.2 Parameter Kisi baja pegas daun

No	Sampel	Parameter kisi (nm)		
		2.032 94	2.032 94	1.172 27
1	Tanpa perlakuan			
2	Pendinginan air	8.41	100.0 0	15.69
3	Pendinginan udara	2.707 91	2.298 32	1.313 68

Dari teknik difraksi sinar-X diperoleh struktur kisi yang dirata-ratakan pada setiap sampel. Pada perhitungan tegangan sisa dikaitkan dengan tegangan hidrostatik yang terjadi $\sigma = \left(\frac{E}{1-2\nu} \right) \epsilon_{av}$, dimana σ adalah tegangan hidrostatik, E adalah Modulus young, ν adalah rasio Poisson ϵ_{av} adalah regangan kisi.

Pada hasil *x-ray diffraction* diperlihatkan baja pegas daun terjadi tegangan tarik (*tensile stress*). Pendinginan menggunakan media pendingin air menghasilkan tegangan sisa sebesar $0,13353 \text{ kN/mm}^2$. Sedangkan tegangan sisa terjadi pada proses *normalizing* atau pendinginan udara sebesar 0.0121 kN/mm^2 . Hal ini membuktikan bahwa proses pendinginan akan menimbulkan tegangan sisa. Tegangan sisa pada baja pegas daun meningkat seiring cepatnya laju pendinginan dengan media *quenching*.

E KESIMPULAN

Kesimpulan analisis tegangan sisa pada proses *quenching* baja pegas daun dengan variasi pendingin air dan udara yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan:

- Kelakuan tegangan sisa dapat dihitung dengan regangan kisi yang terjadi pada baja pegas daun dapat ditentukan dengan fenomena regangan kisi yang terjadi

- b. Tegangan sisa terjadi karena adanya *mismatch* pada fasa austenit dan martensit yang mengubah struktur kisi.
- c. Terjadinya pergeseran dan pelebaran pada puncak difraksi menyebabkan fenomena terjadinya tegangan sisa.
- d. Material bahan baja pegas daun didominasi oleh peregangan kisi pada pendingin air karena pergeseran puncak ke arah kiri dan terjadi regangan tarik yang dapat merugikan bahan baja pegas daun.
- e. Perhitungan tegangan sisa pada pendingin air menghasilkan tegangan 0,13353 kN/mm².
- f. Perhitungan tegangan sisa pada pendingin udara menghasilkan tegangan 0.0121 kN/mm².
- g. Hasil analisis difraktogram menunjukkan ada beberapa puncak difraksi yang mengalami pergeseran yaitu : Tanpa perlakuan 262.85°, 23.08 °, 39.0° *Quenching* dengan media pendingin air 21.10°, 21.10 °, 39.38° *Quenching* dengan media pendingin udara 118.74°. 147.62°, 93.94.

F DAFTAR PUSTAKA

- Srihanto, Sesmoro Max Yuda, Budi Arto. 2016, *Analisis Struktur Kristal Dan Tegangan Sisa Pada Baja Scmn Dengan Teknik Difraksi Sinar-X*. Seminar nasional Teknik Mesin 11. Teknologi Industri, Jakarta.
- Sukirman, Engkir. (2006). *Analisis Regangan Dan Tegangan Sisa Dengan Metode Rietveld Pada Yba 2 Cu 3 O 7-X Hasil Pelelehan*. Indonesian Journal Ofmaterials Science, hal, 147-153.
- Parikin, Dan Ismoyo A.H. (2015). *Analisis Tegangan Sisa Sekitar Lasan Bahan Struktur Reaktor Paduan Zirkonium Dengan Teknik Difraksi Sinar-X*. Seminar Nasional XI Sdm Teknologi Nuklir Yogyakarta. ISSN 1978-0176.
- Effendi, N, Mugihardjo, H, Dan Ismoyo, A H. (2014). *Pengaruh Proses Pengerolan Panas Pada Tegangan Sisa Bahan Struktur Baja A-2 Non Standar Dengan Teknik Difraksi Neutron*. Urania Vol. 20 No, 1. hal 1 –55. ISSN 0852-4777.