

## Pengembangan Baja Paduan Tahan Peluru Melalui Proses *Hot-Forging* Terhadap Morfologi Dan Sifat Mekanik

Ilham Nugrahatama Putra<sup>1)</sup>, Iman Saefuloh<sup>2)</sup>, Bintang Adjiantoro<sup>3)</sup>,  
Miftahul Jannah<sup>4)</sup>

<sup>1)2)4)</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,  
Cilegon, Banten.

<sup>3)</sup> Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan  
Teknologi (PUSPIPTEK), Tangerang Selatan – Banten

E-mail: <sup>1)</sup>[ilhamtamaputra@gmail.com](mailto:ilhamtamaputra@gmail.com)

### Abstrak

Baja laterit adalah baja yang memiliki kandungan nikel hingga 2%. Kandungan nikel tersebut dapat menghasilkan baja dengan sifat unggul seperti: kekuatan tinggi, ketahanan korosi, dan sifat mampu las yang baik. Dengan sifat unggulnya baja laterit dibutuhkan dalam alat utama sistem senjata tantara nasional indonesia. Untuk mengetahui performa kerusakan material tahan peluru, Maka dilakukanlah penelitian terhadap baja laterit ini sebagai material armour yang tangguh dengan dilakukanlah penelitian berupa pengujian sifat mekanik (Uji Kekerasan, dan uji Impak) dan struktur mikro (Metalografi). Sampel dilakukan preparasi sesuai dengan standarisasi ASTM. Berdasarkan hasil uji kekerasan didapatkan nilai rata-rata sampel F dan T adalah 663.9 HVN dan 170.7 HVN. Material F memenuhi syarat dijadikannya material tahan balistik (*armour*) dikarenakan kekerasan yang didapat sesuai dengan klasifikasi dan dapat menahan penetrasi peluru dengan baik. Kemudian uji impak didapatkan nilai rata-rata sampel F dan T adalah 9 joule dan 148 joule. Untuk sampel F jenis patahannya yaitu patah getas berbentuk granular dan sampel T jenis patahannya yaitu patah ulet. Hasil metalografi, sampel F memiliki fasa yang terbentuk adalah *lower bainite* sebagai matriks dan *martensite* umumnya yang berbentuk seperti jarum halus. Kemudian sampel T memiliki fasa yang terbentuk adalah didominasi oleh *ferrite* dengan sifat yang lunak dan ulet. Serta *perlite* sebagai matriks dengan sifat cukup keras dan kuat.

Kata Kunci: Baja laterit; material armor; nikel; sifat mekanik; struktur mikro.

### Abstract

*Laterite steel is steel that has a nickel content of up to 2%. The nickel content can produce steel with superior properties such as: high strength, corrosion resistance, and good weldability properties. With the superior nature of laterite steel is needed in the main tool of the Indonesian national tantara weapon system. To find out the performance of damage to bulletproof materials, then conducted research on this laterite steel as a tough armour material by conducting research in the form of mechanical properties testing (Hardness, and Impact) and microstructures (Metalography). Samples are prepared in accordance with ASTM standardization. Based on the results of the hardness test, the average values of F and T samples were 663.9 HVN and 170.7 HVN. Material F qualifies as a ballistic resistant material (armour) because the hardness obtained in accordance with the classification and can withstand bullet penetration well. Then the impact test obtained the average value of*

*the F and T samples is 9 joules and 148 joules. For F samples, the type of fault is a granular fracture and a T sample of the type of fault is a tenacious fracture. As a result of metallographics, sample F has a corrected phase is lower bainite as a matrix and martensite is generally shaped like a fine needle. Then the T sample has a formed phase is dominated by ferrite with soft and tenacious properties. As well as perlite as a matrix with quite hard and strong properties.*

*Keywords: Lateritic steels, nickel, armour material, mechanical properties, microstructure*

## 1. PENDAHULUAN

Penelitian tentang material tahan peluru (*armour*) telah banyak dilakukan orang diberbagai macam negara demi mempunyai system pertahanan yang kuat. Berbagai bahan digunakan sebagai material tahan peluru. Namun, kebutuhan material tahan peluru pada kendaraan dan pakaian militer masih membutuhkan baja sebagai material tahan peluru. Upaya untuk menciptakan material yang lebih ringan dan tangguh adalah kajian utama oleh para peneliti saat ini [1]. Indonesia dengan potensi alam yang melimpah perlu menjaga kedaulatannya dari berbagai ancaman. Salah satu alat pertahanannya adalah kendaraan tempur. Kemandirian dalam bahan baku material dan perancangan terus ditingkatkan. Bahan baku baja laterit diperoleh dari bijih besi dengan kandungan nikel yang rendah. Bijih laterit ini biasa diabaikan penambang karena faktor ekonomis dan lebih mencari nikel yang berada di bawah lapisan limonit. Karena baja laterit ini merupakan bahan alternatif pada produksi baja, maka baja laterit perlu dikembangkan dengan berbagai macam pembentukan logam [2-3].

Baja laterit adalah baja dengan kandungan nikel berkadar rendah yaitu antara 1-4,5%. Kandungan besi dalam bijih besi laterit ini memang relatif rendah yaitu 35-45% dan kandungan nikelnya antara 0,8-1,5%. Bila dilebur menjadi baja, kandungan nikel menjadi 2-3% yang merupakan paduan utama untuk mencapai sifat unggul yaitu kekuatan tinggi, ketahanan korosi, dan sifat mampu las yang baik. Dengan keunggulan tersebut, daya saing industri baja berbasis bijih laterit berpotensi dalam mendukung kamandirian industri baja dalam negeri dan mampu bersaing merebut pasar ditingkat global [4].

Secara spesifik tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui performa kerusakan material tahan peluru terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada baja paduan berbahan dasar bijih laterit menggunakan uji kekerasan *vickers*, uji

impak *charpy*, dan metalografi dengan membandingkan dan menganalisa perbedaan nilai setiap pengujian dari kedua spesimen dan menunjukkan spesimen yang memiliki nilai terbaik dari setiap pengujian untuk digunakan pada penelitian lanjutan. Serta Mengetahui unsur kimia apa saja yang mempengaruhi ketahanan material terhadap peluru.

Material tahan peluru atau armor adalah material yang mampu menahan laju balistik yang dilepaskan oleh senapan. Material ini digunakan untuk melindungi dari serangan balistik yang biasanya diaplikasikan khususnya untuk militer [5]. Penggunaan material armor dalam bentuk plat harus mempunyai dua fungsi utama yaitu proteksi dan konstruksi [6]. Semakin tebal plat armor yang digunakan dalam ranpur maka semakin tahan terhadap serangan balistik, Namun kelincahan dan efisiensi di lapangan berkurang [7]. Syarat untuk dapat dikategorikan baja tahan peluru yang baik adalah mempunyai kekerasan sebesar 400-600 HVN [8].

Baja laterit dapat diperbaiki sifat mekaniknya melalui beberapa cara, salah satunya adalah dengan *heat treatment* dengan proses penempaan panas (*hot-forging*) yang membantu memperbaiki sifat mekanik dan struktur mikro pada baja laterit, perubahan suhu temper dapat merubah struktur mikro dan kekuatan tarik maupun kekerasan permukaan baja laterit [9]. Laju pendinginan setelah proses penempaan berpengaruh terhadap pembentukan struktur mikro, transformasi, dan fraksi volume yang perlu dikontrol [10].

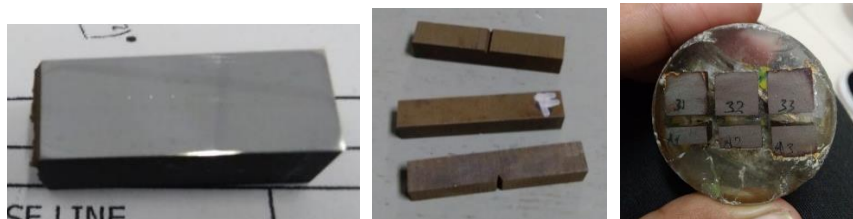
## 2. METODE PENELITIAN

Hal pertama yang dilakukan pada penelitian ini adalah preparasi material, Preparasi material dilakukan dengan menggunakan mesin *wire cut* yang dilakukan di pusat penelitian metalurgi dan material, PUSPITEK, Tangerang selatan. Untuk sampel uji kekerasan dilakukan sesuai dengan standarisasi ASTM E 384 dengan pemotongan dibagian yang terkena jejak peluru. Untuk sampel uji impak menggunakan standarisasi ASTM E 23 dengan dimensi 10mm x 10mm x 55mm dengan *V notch* 45°. Untuk sampel metalografi didapat dari sisa patahan dari uji impak yang dipotong dan di *mounting*. Pada preparasi sampel kekerasan dan metalografi dilakukan penghalusan permukaan dengan menggunakan alat *grinding and polishing* agar dapat dilakukan pengamatan struktur mikro dan jejak indentor pada uji kekerasan. Pada gambar 1 menunjukkan sampel sebelum dipreparasi, dan

pada gambar 2 Menunjukkan sampel yang sudah dipreparasi sesuai dengan masing-masing pengujian.



**Gambar 1.** Sampel sebelum preparasi



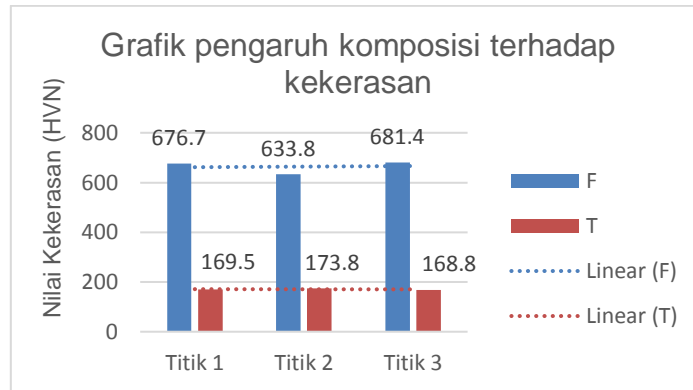
**Gambar 2.** Sampel setelah preparasi

Setelah dilakukan preparasi, Material tersebut akan dilakukan 3 jenis pengujian yaitu pengujian kekerasan dengan menggunakan metode *Vickers macrohardness* menggunakan pyramid intan dengan pembebanan 5Kgf. Pada pengujian ini dilakukan pengambilan data di 3 titik yang berbeda. Lalu pengujian impak dengan menggunakan metode *Impack Charpy* dengan *V notch* 45°. Pendulum yang digunakan memiliki panjang 0.748 m dan berat 21.89 kg. Pengujian kekerasan dan impak dilakukan di laboratorium PT. Krakatau Pipe Industries, Cilegon. Kemudian pengujian metalografi dengan 3 kali pembesaran permukaan yaitu 50x, 100x, dan 200x. Pengamatan struktur mikro ini menggunakan nital 3% (HNO<sub>3</sub> 3% + Alkohol 97%) sebagai etsa. Pengujian Metalografi ini dilakukan di pusat penelitian metalurgi dan material, PUSPITEK, Tangerang selatan.

### **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **a. Analisa Hasil Uji Kekerasan**

Pengujian kekerasan ini menggunakan metode *vickers* dengan pembebanan 5 kgf. Sampel diuji di 3 titik yang berbeda. Dari hasil uji kekerasan didapat hasil pengujian sebagai berikut:

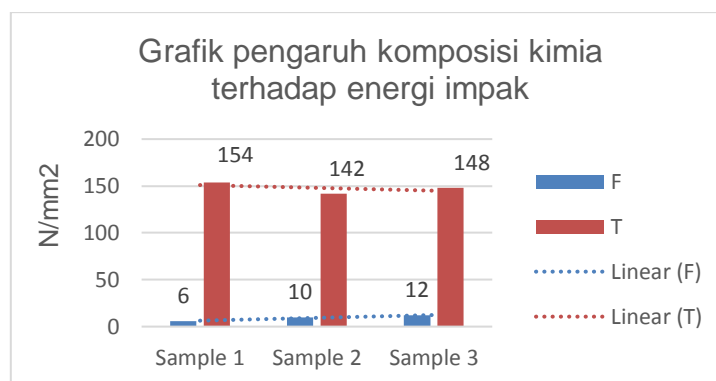


**Gambar 3.** Hasil Uji Kekerasan

Berdasarkan grafik pada Gambar 3, Sample F memiliki nilai rata-rata kekerasan paling tinggi sebesar 663.9 HVN, Sedangkan sample T memiliki nilai rata-rata kekerasan sebesar 170.7 HVN. Dan dapat diambil kesimpulan bahwa tingkat kekerasan yang tinggi memengaruhi terhadap lapisan permukaan pada spesimen, yang mengakibatkan peluru tidak mudah tembus setelah mengalami tumbukan. Baja laterit ini termasuk jenis baja yang memiliki ketahanan terhadap peluru yang baik karena terdapat unsur seperti 1.87% Mn; 1.8020% Ni; dan 1.710% Cr. Sedangkan baja karbon tidak dapat menahan penetrasi peluru dikarenakan unsur seperti 0.095% Mn; 1.554% Ni; dan 0.249% Cr lebih kecil dibandingkan dengan baja laterit. Unsur-unsur tersebut adalah faktor yang meningkatkan nilai kekerasan. Pada baja paduan tersebut mengalami pepadatan struktur yang dapat diamati dengan pengujian struktur mikro.

**b. Analisa Hasil Uji Impak**

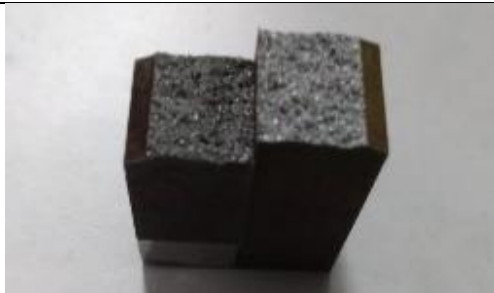


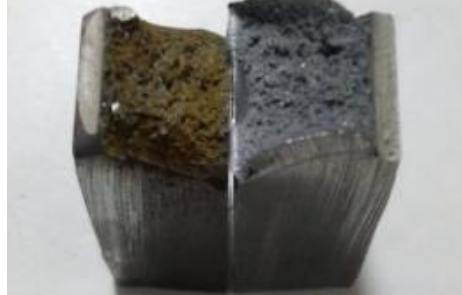
Pengujian impak ini menggunakan metode *charphy* dengan *V notch* 45°. Dari hasil uji impak didapat hasil pengujian sebagai berikut:



**Gambar 4.** Hasil Uji Impak

Berdasarkan gambar 4. Dapat dilihat bahwa pengaruh komposisi terhadap material mengakibatkan material tersebut memiliki nilai impact yang berbeda dan juga dengan melihat tampak patahan untuk menggolongkan jenis material yang getas maupun ulet dapat dilihat pada tabel 1. Material F hanya mampu menahan beban kejut rata-rata 9 joule, sedangkan Material T mampu menahan 148 Joule. Berikut tampak patahan dari setiap sampel.

**Tabel 1.** Tampak patahan hasil uji impact

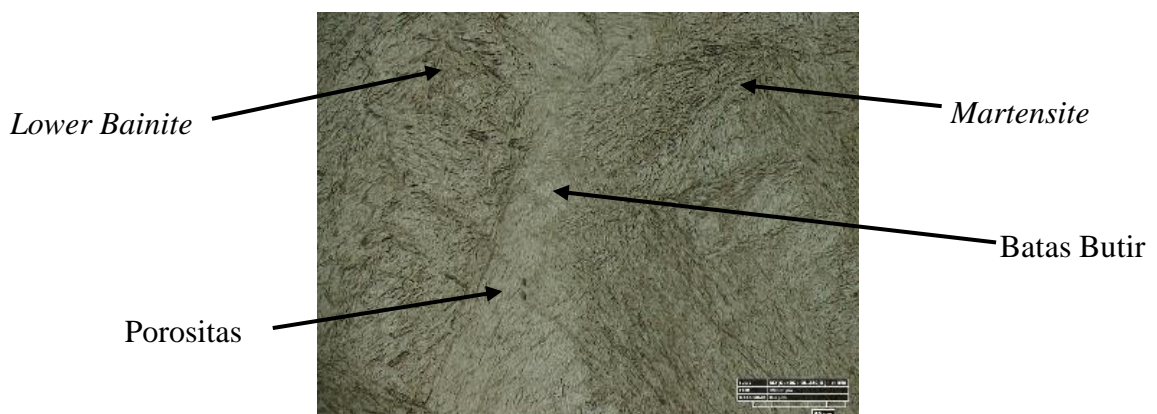
No	Kode Sample	Tampak Patahan	Jenis Patahan
1.	F1		Patah Getas
2.	F2		Patah Getas
3.	F3		Patah Getas
4.	T1		Patah Ulet

5.	T2		Patah Ulet
6.	T3		Patah Ulet

Dapat terlihat bahwa material F memiliki bentuk patahan yang getas berbentuk granular dengan bidang patahan yang relatif tegak lurus, Kemudian selang waktu terjadinya patah sangatlah cepat, dan juga tidak tampak adanya reduksi luas penampang. Sedangkan material T memiliki bentuk patahan yang ulet berbentuk adanya cubitan disisi patahan. Kemudian selang waktu terjadinya patah lebih terhambat, dan juga memiliki tampak reduksi luas penampang yang diakibatkan tegangan uniaksial.

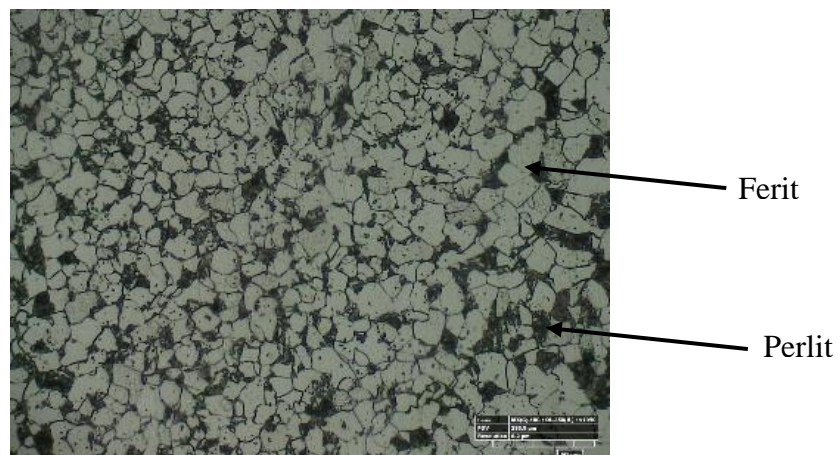
**c. Analisa Hasil Uji Metalografi**

Pada pengamatan struktur mikro, dilakukan pembesaran mikro pada permukaan sampel yaitu 200 kali pembesaran pada sampel yang telah *dimounting*, *grinding*; *polishing*, dan etsa nital 3%. Adapun hasil pengujian struktur mikro didapat hasil pengamatan sebagai berikut:



**Gambar 5.** Hasil Pengamatan Sampel F

Gambar 5. Menunjukkan hasil struktur mikro baja laterit pada bagian *surface*. Struktur yang terbentuk adalah *Upper Bainite* sebagai matriks, dan *martensite* umumnya yang berbentuk seperti jarum. Kekerasan *martensite* akan meningkat dengan bertambahnya unsur karbon didalamnya. Selain itu, baja laterit terdapat batas butir hasil dari austenit sisa (reduksi austenit) dan juga memiliki beberapa porositas yang disebabkan oleh kualitas hasil cor dari baja laterit.



**Gambar 6.** Hasil Pengamatan Sampel T

Pada gambar 6, Menunjukkan hasil struktur mikro baja karbon rendah pada bagian *surface*. Struktur yang terbentuk didominasi oleh Ferit yang memiliki sifat lunak dan ulet karena terjadi proses pembentukan larutan padat interstisi atom karbon dari besi. Kemudian perlit sebagai matriks yang memiliki sifat kuat dan cukup keras.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan Analisa pada penelitian performa kerusakan material baja laterit tahan peluru terhadap sifat mekanik dan struktur mikro dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Berdasarkan hasil uji kekerasan didapatkan nilai rata-rata sampel F dan T adalah 663.9 HVN dan 170.7 HVN. Sesuai dengan hasil pengujian tersebut material F memenuhi syarat dijadikannya material tahan balistik (*armour*) dikarenakan kekerasan yang didapat sesuai dengan klasifikasi dan dapat menahan penetrasi peluru dengan baik. Kemudian uji impak didapatkan nilai rata-rata sampel F dan T adalah 9 joule dan 148 joule. Masing-masing sampel memiliki patahan yang berbeda, Untuk sampel F jenis patahannya yaitu patah



getas berbentuk granular dan sampel T jenis patahannya yaitu patah ulet. Hasil metalografi, sampel F memiliki fasa yang terbentuk adalah *upper bainite* sebagai matriks dan *martensite* umumnya yang berbentuk seperti jarum halus. Kemudian sampel T memiliki fasa yang terbentuk adalah didominasi oleh *ferrite* dengan sifat yang lunak dan ulet. Serta *perlite* sebagai matriks dengan sifat cukup keras dan kuat.

- b. Berdasarkan komposisi yang terkandung pada sampel F dan T memiliki keragaman variasi unsur kimia yang mempengaruhi karakteristik material. Kadar karbon (C) pada sampel F = 0.49% dan T = 0.143, dapat disimpulkan bahwa sampel F adalah baja karbon menengah sedangkan T adalah baja karbon rendah. Pada sampel F unsur-unsur seperti 1.87% Mn; 1.8020% Ni; dan 1.710% Cr memiliki ketahanan yang baik terhadap penetrasi peluru. Sedangkan sampel T tidak dapat menahan penetrasi peluru dikarenakan unsur seperti 0.095% Mn; 1.554% Ni; dan 0.249% Cr lebih kecil dibandingkan dengan sampel F. Unsur karbon (C) memiliki karakteristik seperti menaikkan kekuatan dan kekerasan. Unsur Mangan (Mn) memiliki karakteristik menaikkan kekuatan pada saat diberi temperatur tinggi. Unsur Ni memiliki karakteristik menaikkan kekuatan kejut. Dan unsur krom (Cr) memiliki karakteristik menghambat laju korosi.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nugroho,S., Haryanto, I., Anestasia dan Febby Arifin, J., Soedarto, J., & Undip Tembalang, K. (2019). *Pembuatan Pelat Baja untuk Material Tahan Peluru untuk Kendaraan Tempur* (Vol. 21,Issue 4)
- [2] W. Astuti, Z. Zulhan, A. Shofi, K. Isnugroho, F. Nurjaman, dan E. Prasetyo. *Pembuatan Nickel Pig Iron (NPI) dari Bijih Nikel Laterit Indonesia Menggunakan Mini Blast Furnace*. Pros. InSINas, pp. 66–71, 2012
- [3] Purwanto, H., Soenoko, R., Purnowidodo, A., & Suprpto, A. (2016). *Pengembangan Material Tahan Balistik Sebagai Bahan Kendaraan Tempur di Indonesia: Review*. 62–64.
- [4] Adjiantoro, B., Jamali, A., Binudi, R., & Hasbi, M. Y. (2016). *Karakteristik Sifat Mekanik Baja Laterit Melalui Proses Pengerjaan dan Perlakuan Panas*.

- 
- [5] Karagoz, S., Atapek, H. & Yilmaz, A. 2008b. *A. Microstructural Characterization And Effects On Mechanical Properties Of Boron Adde Armour Steel*. 13th International Conference On Applied mechanics And Mechanical Engineering. Cairo.
- [6] Rahmalina, D.. 2012. *Pengembangan Komposit Matrik Aluminium Sebagai Material Armour dengan Keunggulan Karakteristik Balistik*. Disertasi Program Doktor (tidak dipublikasikan) Departemen Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik. Jakarta : Universitas Indonesia.
- [7] Montgomery, S. & Chin, E. 2004. *Protecting a Future Force- A New Generation of Metallic Armors Leads The Way*. AMPTIAC Quarterly. 6.
- [8] DIDIEK NOOR ROHMAN, Dr. Kusmono,S.T., M.T. 2015. “Pengaruh Proses Pengerolan Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanis pada Baja Bainitik untuk Aplikasi Baja Tahan Peluru”
- [9] Herbirowo, S., & Adjiantoro, B. (2017). *Pengaruh Sifat Mekanik dan Morfologi pada Baja Laterit Hasil Tempa dengan Variasi Perlakuan Panas (Satrio Herbirowo dkk) PENGARUH SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI PADA BAJA LATERIT HASIL TEMPA DENGAN VARIASI PERLAKUAN PANAS*.
- [10] Herbirowo, S., Adjiantoro, B., & Citrawati, F. (2018). *KARAKTERISTIK SIFAT MEKANIK DAN STRUKTURMIKRO BAJA LATERIT PADUAN Ni-CR-MN HASIL TEMPA PANAS DENGAN VARIASI BEBAN TEMPA (Vol. 1)*. [www.ejurnalmaterialmetalurgi.com](http://www.ejurnalmaterialmetalurgi.com)