



## Peningkatan Sifat Mekanik *AISI 4130 Low Alloy Steel* Melalui Perlakuan Panas

Greida Frista<sup>1</sup>, Hamdan Akbar Notonegoro<sup>2\*</sup>, Hasanudin Gufron Fachrudin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Balai Besar Logam dan Mesin, Badan Penelitian dan Pengembangan Industri, KEMENPERIN, Jl. Sangkuriang 12 Dago Bandung, Indonesia

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jend. Soedirman KM.3 Cilegon 42435, Indonesia

\*Email Penulis: [hamdan\\_an@untirta.ac.id](mailto:hamdan_an@untirta.ac.id)

### INFORMASI ARTIKEL

NaskahDiterima 15/10/2017  
NaskahDirevisi 02/11/2017  
NaskahDisetujui 02/11/2017  
Naskah Online 03/11/2017

### ABSTRAK

Baja AISI 4130 merupakan baja paduan rendah (*Low Alloy Steel*) yang mengandung kromium dan molibdenum. Baja ini memiliki sifat ulet atau daktil serta mempunyai faktor temperatur yang tinggi sehingga banyak digunakan dalam industri. Pada bilah turbin *exhaust AISI 4130 Low Alloy Steel* yang dipasang pada unit boiler pembangkit listrik batubara, ditemukan terjadinya penipisan akibat bergesekan dengan partikel udara yang menabrak bilah saat berputar. Untuk mengatasi hal tersebut maka telah dilakukan usaha meningkatkan sifat mekaniknya dengan perlakuan panas melalui proses *hardening* dan *tempering* selama 30 menit. Dari tiap proses tersebut, masing-masingnya di *quenching* dengan air dan oli. Dalam penelitian ini dibandingkan antara variasi suhu *hardening* 800 °C dan 900 °C dengan variasi suhu tempering 400 °C, 500 °C, dan 600 °C untuk memperoleh hasil perlakuan yang optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketahanan aus yang optimal diperoleh dari proses *hardening* pada suhu 900 °C dan *tempering* pada suhu 500 °C. Proses ini akan menghasilkan AISI 4130 *Low Alloy Steel* yang lebih tahan keausan terhadap pengaruh lingkungan dan memiliki struktur *martensite-bainite* dengan kandungan *ferrite* yang tetap.

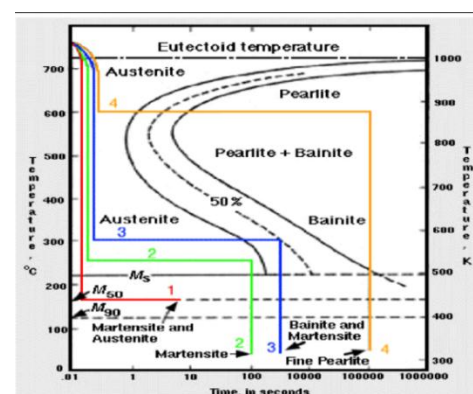
**Kata kunci:** AISI 4130 *Low Alloy Steel*, sifat mekanik, perlakuan panas, ketahanan aus

### 1. PENDAHULUAN

Baja AISI 4130 merupakan baja paduan rendah (*Low Alloy Steel*) yang mengandung kromium (0.80-1.10 wt. %) dan molibdenum (0.15-0.25 wt. %). Penambahan unsur tersebut didalam paduan baja antara lain bertujuan untuk memperbaiki sifat mekanik pada temperatur rendah atau tinggi. Sifatnya yang ulet atau daktil serta mempunyai faktor temperatur yang tinggi membuatnya banyak digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan roda kereta, poros, *airframe components*, ring, bilah turbin dan banyak lagi (Gaul and Duquette, 1980). Dipasaran, produk baja jenis ini antara lain tersedia dalam bentuk bilet, bar, silinder, dan cor.

Namun demikian, adanya unsur paduan yang ditambahkan dalam baja ini dapat menyebabkan terbentuknya senyawa intermetalik dan menghambat proses penghalusan butir (Bultel and Vogt, 2010). Sehingga hal ini dapat mempengaruhi transisi fasa yang terjadi didalam baja seperti diagram TTT yang

ditampilkan pada Gambar 1. Hal ini dapat mengakibatkan *paduan* yang diperoleh tidak sesuai harapan (Abbas and Ghazanfar, 2005).



**Gambar 1.** TTT diagram untuk AISI 4130 *Low Alloy Steel* (Maurya and Paunekar, 2016).

Untuk meningkatkan sifat mekanik seperti kekerasan dan ketahanan aus pada *AISI 4130 Low Alloy Steel* dapat dilakukan dengan memberikan perlakuan panas antara lain menggunakan metode *hardening* (suhu  $\geq 800$  °C) dan metode *tempering* (suhu 200-700 °C) (Wu *et al.*, 2015; Mubarak *et al.*, 2016; Qian, Sharp and Rainforth, 2016). Kedua metode tersebut memerlukan waktu tahan (*holding time*) dan pendinginan cepat (*quenching*) dengan mencelupkan atau memasukkan material yang telah diberi perlakuan panas kedalam media pendingin seperti air, oli, garam atau lainnya sehingga diperoleh sifat mekanik yang sesuai dengan kondisi kerja material (Hoa *et al.*, 2007; Dini *et al.*, 2010; Pessard *et al.*, 2014)



**Gambar 2.** Bilah turbin *exhaust AISI 4130 Low Alloy Steel*.

Pada studi kasus terhadap bilah turbin *exhaust AISI 4130 Low Alloy Steel* (Gambar 2) yang dipasang pada unit boiler pembangkit listrik batubara, ditemukan adanya penipisan yang terjadi akibat kondisi operasional. Penipisan ini terjadi akibat bergesekan dengan partikel udara yang menabrak bilah saat berputar. Untuk mengatasi hal tersebut maka perlu dilakukan usaha untuk meningkatkan sifat mekanik bilah turbin *exhaust AISI 4130 Low Alloy Steel* yaitu kekerasan dan ketahanan gesek agar lebih handal saat digunakan pada kondisi operasional.

Dalam penelitian ini telah dilakukan usaha peningkatan kemampuan mekanik *AISI 4130 Low Alloy Steel* melalui perlakuan panas dengan variasi suhu *hardening* dan suhu *tempering*.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Spesimen yang berasal dari V-Block *AISI 4130 Low Alloy Steel* (Gambar 3) produksi **Balai Besar Logam dan Mesin-BPPI-KEMENPERIN** memiliki komposisi elemen seperti yang tercantum pada Tabel 1. Spesimen tersebut kemudian dipotong menjadi beberapa bagian dan dibuat sampel dengan bentuk dan ukuran yang proporsional. Potongan sampel tersebut kemudian diberi label sesuai dengan perlakuan panas yang

diterima dan memudahkan identifikasi yang dilakukan seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.

**Tabel 1.** Kandungan V-Block *AISI 4130 Low Alloy Steel*

| Unsur | Kandungan (wt. %) |
|-------|-------------------|
| Fe    | 95,4              |
| C     | 0,31              |
| Si    | 0,62              |
| Mn    | 1,58              |
| Cr    | 1,44              |
| Mo    | 0,378             |
| S     | < 0,002           |
| P     | < 0,003           |

Sumber: analisa lab.

Sampel-sampel tersebut kemudian dibagi menjadi dua kelompok. Kelompok pertama mendapat perlakuan *hardening* pada suhu 800 °C dan Kelompok kedua pada suhu 900 °C. Pemanasan dilakukan selama 30 menit dan dilanjutkan dengan *quenching* kedalam air. Selanjutnya, tiap kelompok sampel tersebut kemudian *ditemper* dengan variasi suhu 400 °C, 500 °C, dan 600 °C selama 30 menit, dilanjutkan *quenching* kedalam oli. Sampel tanpa perlakuan (DS) diuji pula sebagai nilai referen.

**Tabel 2.** Matriks sampel *AISI 4130 Low Alloy Steel* dan variasi Perlakuan

| Sampel       | Holding time | Hardening (°C) | Tempering (°C) |
|--------------|--------------|----------------|----------------|
| L84          | 30 menit     | 800            | 400            |
| L85          |              |                | 500            |
| L86          |              |                | 600            |
| S94          |              |                | 400            |
| S95          |              |                | 500            |
| S96          |              |                | 600            |
| DS           | 0            | 0              | 0              |
| Media Quench |              | Air            | Oli            |

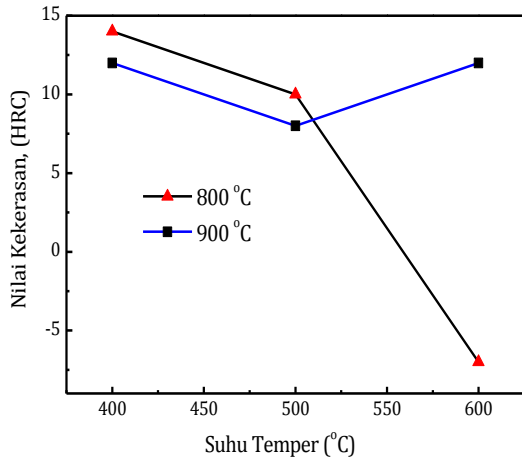
Untuk mengidentifikasi kenaikan sifat mekanik yang terjadi setelah perlakuan panas tersebut maka kemudian dilakukan uji ketahanan aus, uji kekerasan, dan identifikasi struktur metallography terhadap permukaan sampel.



**Gambar 3.** *AISI 4130* berbentuk V-block yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini.

### 3. PEMBAHASAN

Gambar 4 memperlihatkan kurva kenaikan nilai kekerasan sampel AISI 4130 *Low Alloy Steel* yang telah mendapatkan perlakuan panas. Nilai tersebut merupakan nilai kekerasan hasil perlakuan relatif terhadap DS. Tampak bahwa pada umumnya terjadi peningkatan kekerasan pada kedua sampel hasil *hardening* yang telah *temper*. Nilai kekerasan sampel L84 dan L85 diatas sampel S94 dan S95, walau terjadi penurunan.

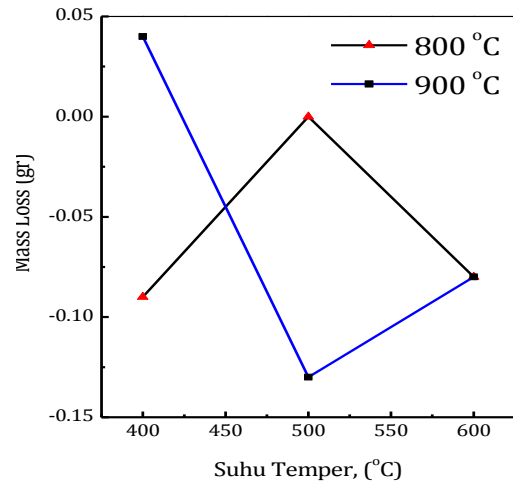


**Gambar 4.** Nilai kekerasan dari hasil uji HRC terhadap AISI 4130 *Low Alloy Steel* yang telah mendapatkan perlakuan panas relatif terhadap DS.

Namun pada sampel L86 nilai kekerasan tersebut turun drastis bahkan dibawah DS. Lain halnya dengan sampel S96, yang nilai kekerasannya sama dengan sampel S94. Hal ini menunjukkan bahwa proses *tempering* telah membuat turunnya kekerasan dari sampel hasil *hardening* suhu 800 °C. Pada sampel *hardening* suhu 900 °C, turunnya nilai kekerasan hanya terjadi pada hasil *tempering* di suhu 500 °C. Dari dua kelompok *hardening* tersebut, terlihat bahwa perlakuan *hardening* dengan suhu 900 °C cenderung membuat nilai kekerasan lebih bertahan setelah melalui proses *tempering* dibanding suhu *hardening* 800 °C.

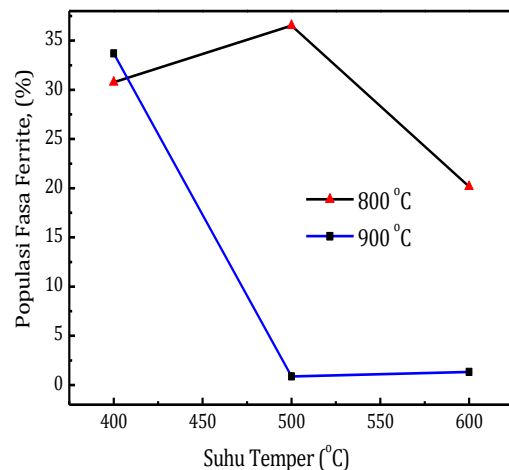
Gambar 5 menampilkan kurva kehilangan massa (*mass loss*) dari hasil uji gesek tiap sampel yang telah mendapat perlakuan panas relatif terhadap sampel sebelum perlakuan. Nilai tersebut menunjukkan bahwa semakin besar nilai *mass loss*-nya maka semakin rendah ketahanan ausnya. Terlihat pada kurva tersebut bahwa sampel L84-86 mengalami *mass loss* lebih rendah dari sampel DS. Namun sampel L85 memiliki *mass loss* yang hampir sama dengan DS. Lain halnya dengan sampel S94, mengalami *mass loss* yang sedikit lebih besar dari DS. Tetapi kemudian S95 mengalami *mass loss* jauh lebih kecil dari semuanya dan diikuti oleh S96 yang memiliki nilai *mass loss* dekat dengan L86. Hasil ini menunjukkan proses *tempering* telah menaikkan ketahanan aus (*wear resistance*) semua sampel yang telah melewati proses *hardening* pada suhu 800 °C. Namun demikian, ketahanan aus terbaik terdapat pada sampel yang telah

mengalami proses *hardening* pada suhu 900 °C yang telah mengalami perlakuan *tempering* di suhu 500 °C.



**Gambar 5.** Identifikasi *mass loss* hasil uji gesek AISI 4130 *Low Alloy Steel* yang telah mendapatkan perlakuan panas relatif terhadap kondisi sebelum perlakuan.

Gambar 6 menampilkan kurva % populasi fasa *ferrite* tiap sampel yang telah mendapat perlakuan panas relatif terhadap sampel sebelum perlakuan. Terlihat pada kurva tersebut populasi *ferrite* L84-85-86 jumlahnya lebih banyak dibanding DS. Walau pada L84 jumlah populasi *ferrite* dibawah S94, namun mencapai nilai tertinggi pada L85 yang diikuti penurunan pada L86. Sementara itu, jumlah populasi S95-96 hampir sama dengan DS. Hasil ini memperlihatkan bahwa proses *hardening* pada suhu 800 °C telah menaikkan populasi *ferrite* walau sudah diberi perlakuan *tempering*.



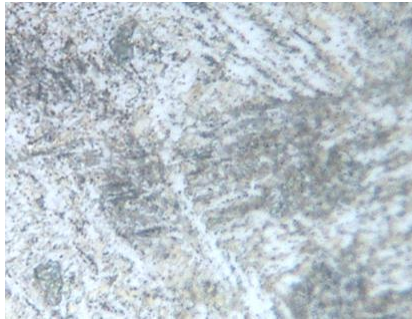
**Gambar 6.** Identifikasi populasi fasa *ferrite* pada AISI 4130 *Low Alloy Steel* yang telah mendapatkan perlakuan panas relatif terhadap populasi sebelum perlakuan.

Berbeda halnya dengan hasil *hardening* pada suhu 900 °C, proses *tempering* telah mengembalikan populasi *ferrite* ke kondisi awal. Nampak pula bahwa besarnya populasi *ferrite* lebih dominan terbentuk dari perlakuan

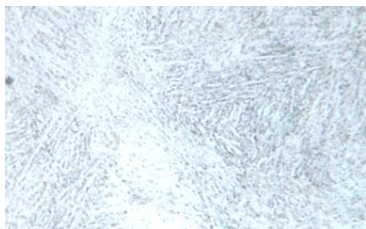


*hardening* pada suhu 800 °C dibandingkan dengan perlakuan *hardening* pada suhu 900 °C.

Untuk memperkuat hasil yang telah diperoleh dari berbagai pengujian mekanik, telah dilakukan pula identifikasi fasa terhadap permukaan sampel. Hasil metalografi terhadap permukaan sampel DS ditampilkan pada Gambar 7. Kontur dari permukaan sampel DS menunjukkan adanya fasa mikro *acicular ferrite* dan bainit.



**Gambar 7.** Hasil metalografi permukaan *AISI 4130 Low Alloy Steel* sebelum mendapatkan perlakuan panas. Kontur tersebut menunjukkan fasa mikro *acicular ferrite* dan bainit.



L84



L85



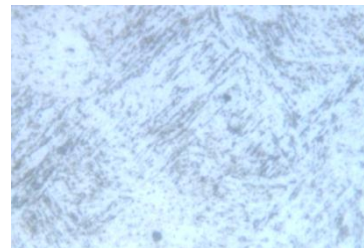
L86

**Gambar 8.** Hasil metalografi permukaan *AISI 4130 Low Alloy Steel* hasil *hardening* pada suhu 800 °C dan telah melewati proses *tempering* pada suhu 400 °C, 500 °C, dan 600 °C. Dari fasa *martensite* (L84) menjadi *ferrite-spheroid sementit* (L85), lalu muncul sedikit fasa *martensite* (L86).

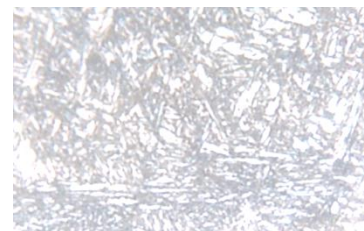
Pada sampel *hardening* 800 °C yang telah mengalami proses *tempering* pada suhu 400 °C, 500 °C dan 600 °C yang ditampilkan pada Gambar 8, menunjukkan terjadinya transformasi fasa pada struktur baja dari fasa *martensite* (L84) menjadi *ferrite-spheroid sementit* (L85), lalu muncul sedikit fasa *martensite* (L86). Perubahan struktur ini mengakibatkan turunnya nilai

kekerasan pada baja tersebut (Elmer *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2015).

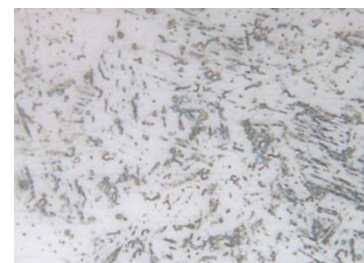
Pada sampel *hardening* 900 °C yang telah mengalami proses *tempering* pada suhu 400 °C, 500 °C dan 600 °C yang ditampilkan pada Gambar 9, menunjukkan terjadinya transformasi fasa pada struktur baja dari fasa *martensite-pearlite* (S94) menjadi *martensite-bainite* (S95), lalu menjadi *martensite-pearlite-spheroid sementit* yang membentuk permukaan kasar (S96). Perubahan struktur ini telah membuat nilai kekerasan pada sampel tersebut meningkat.



S94



S95



S96

**Gambar 9.** Hasil metalografi permukaan *AISI 4130 Low Alloy Steel* hasil *hardening* pada suhu 900 °C dan telah melewati proses *tempering* pada suhu 400 °C, 500 °C, dan 600 °C. Dari fasa *martensite-pearlite* (S94) menjadi *martensite-bainite* (S95), lalu menjadi *martensite-pearlite-spheroid sementit* (S96).

Apabila fasa-fasa tersebut dihubungkan dengan hasil pengujian sifat mekanik, kehadiran fasa *ferrite-spheroid sementit* dengan kemunculan sedikit fasa *martensite* telah mejadi penyebab turunnya nilai kekerasan yang dimiliki oleh *AISI 4130 Low Alloy Steel*. Adanya fasa *martensite-pearlite* membuat *AISI 4130 Low Alloy Steel* tidak tahan gesek. Sehingga dibutuhkan *martensite-bainite* untuk membuat *AISI 4130 Low Alloy Steel* yang lebih tahan aus.

Dari serangkaian hasil pengujian diatas, diperoleh informasi bahwa untuk mendapatkan bilah turbin *AISI 4130 Low Alloy Steel* yang lebih tahan aus terhadap pengaruh lingkungan kerja maka sampel S95 menjadi pilihan terbaik. Sampel ini akan menghasilkan *AISI 4130 Low Alloy Steel* yang memiliki struktur *martensite-bainite* dengan kandungan *ferrite* yang tetap.

10.1016/j.msea.2015.05.002.  
 Zhang, X., Hickel, T., Rogal, J., Fähler, S., Drautz, R. and Neugebauer, J. (2015) 'Structural transformations among austenite, ferrite and cementite in Fe-C alloys: A unified theory based on ab initio simulations', *Acta Materialia*. Acta Materialia Inc., 99, pp. 281–289. doi: 10.1016/j.actamat.2015.07.075.

#### 4. KESIMPULAN

Pada bilah turbin *exhaust AISI 4130 Low Alloy Steel* ditemukan adanya penipisan akibat kondisi operasional. Usaha peningkatan kemampuan mekanik tersebut dilakukan dengan memberikan perlakuan panas seperti pada sampel S95. Proses ini akan menghasilkan AISI 4130 *Low Alloy Steel* yang memiliki struktur *martensite-bainite* dengan kandungan *ferrite* yang tetap. Material ini memiliki sifat lebih tahan terhadap keausan akibat pengaruh lingkungan.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM)-BPPI – KEMENPERIN dan juga kepada Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA yang telah mendukung penelitian ini.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, G. and Ghazanfar, U. (2005) 'Two-body abrasive wear studies of laser produced stainless steel and stainless steel + SiC composite clads', *Wear*, 258(1-4 SPEC. ISS.), pp. 258–264. doi: 10.1016/j.wear.2004.09.036.
- Bultel, H. and Vogt, J. B. (2010) 'Influence of heat treatment on fatigue behaviour of 4130 AISI steel', *Procedia Engineering*. Elsevier, 2(1), pp. 917–924. doi: 10.1016/j.proeng.2010.03.099.
- Dini, G., Najafizadeh, A., Monir-Vaghefi, S. M. and Ueji, R. (2010) 'Grain size effect on the martensite formation in a high-manganese TWIP steel by the Rietveld method', *Journal of Materials Science and Technology*, 26(2), pp. 181–186. doi: 10.1016/S1005-0302(10)60030-8.
- Elmer, J. W., Palmer, T., Babu, S. S., Zhang, W. and DebRoy, T. (2004) 'Direct observations of austenite, bainite, and martensite formation during arc welding of 1045 steel using time-resolved X-ray diffraction', *Welding journal*, 83(9), p. 244. Available at: <https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/305013.pdf>.
- Gaul, D. J. and Duquette, D. J. (1980) 'The effect of fretting and environment on fatigue crack initiation and early propagation in a quenched and tempered 4130 Steel', *Metallurgical Transactions A*, 11(9), pp. 1555–1561. doi: 10.1007/BF02654519.
- Hoa, N. Q., Chau, N., Yu, S. C., Thang, T. M., The, N. D. and Tho, N. D. (2007) 'The crystallization and properties of alloys with Fe partly substituted by Cr and Cu fully substituted by Au in Finemet', *Materials Science and Engineering A*, 448-451, pp. 364–367. doi: 10.1016/j.msea.2006.03.139.
- Maurya, S. and Paunekar, A. (2016) 'Automotive Fasteners Defects and Failure Analysis', (March). doi: 10.13140/RG.2.2.23173.55523.
- Mubarok, N., Notonegoro, H. A., Thosin, K. A. Z. and Manaf, A. (2016) 'The mechanical properties of austenite stainless steel 304 after structural deformation through cold work', in *AIP Conference Proceedings*. doi: 10.1063/1.4953947.
- Pessard, E., Abrivard, B., Morel, F., Abroug, F. and Delhaye, P. (2014) 'The effect of quenching and defects size on the HCF behaviour of Boron steel', *International Journal of Fatigue*. Elsevier Ltd, 68, pp. 80–89. doi: 10.1016/j.ijfatigue.2014.06.002.
- Qian, F., Sharp, J. and Rainforth, W. M. (2016) 'Characterisation of L21-ordered Ni<sub>2</sub>TiAl precipitates in FeMn maraging steels', *Materials Characterization*. Elsevier Inc., 118, pp. 199–205. doi: 10.1016/j.matchar.2016.05.026.
- Wu, Z. Q., Ding, H., An, X. H., Han, D. and Liao, X. Z. (2015) 'Influence of Al content on the strain-hardening behavior of aged low density Fe-Mn-Al-C steels with high Al content', *Materials Science and Engineering A*, 639, pp. 187–191. doi:

