



Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Tahan *Post Weld Heat Treatment* pada Kekerasan Material A335 Grade P92 untuk Aplikasi Pembangkit Listrik

Eriek Wahyu Restu Widodo^{1*}, Moh. Thoriq Wahyudi², M. Karim Al Amin³, Dika Anggara⁴, Abiyyuda Putra Farrasy⁵, Imah Luluk Kusminah⁶, Alvalo Toto Wibowo⁷

^{1,2,5} Program Studi D4 Teknik Pengelasan dan ^{3,4,6,7}D2 Teknik Pengelasan dan Fabrikasi, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia Kampus ITS, Surabaya, 60111

Abstrak. Material A335 Grade P92 adalah baja martensitik yang tahan panas untuk aplikasi komponen pembangkit listrik bertekanan tinggi sehingga perlu dibutuhkan material yang tebal. Sifat martensitik yang dimiliki menjadikan material ini mempunyai sifat mekanik kekerasan yang tinggi dan mudah mengalami retak. Akibatnya pengelasan pada material A335 grade P92 wajib untuk dilakukan *Post Weld Heat Treatment* (PWHT). Penelitian bertujuan menganalisis pengaruh yang ditimbulkan akibat variasi pada temperatur dan variasi lama waktu tahan proses PWHT terhadap nilai kekerasan material A335 grade P92. Nilai kekerasan yang didapatkan dalam penelitian ini mengalami penurunan nilai kekerasan akibat kenaikan variasi temperatur PWHT dan semakin lama waktu tahan PWHT. Nilai uji kekerasan tertinggi diperoleh di daerah logam las yaitu 302,85 kgf/mm² dengan variasi temperatur PWHT yaitu 705°C dan waktu tahannya selama 60 menit, sedangkan nilai kekerasan terendah yaitu 285,13 kgf/mm² pada daerah logam induk dengan variasi temperatur pada PWHT 775°C dan waktu tahannya selama 120 menit. Hasil metalografi terbentuk fasa ferrit, perlit, dan martensit pada setiap spesimen dengan kenaikan variasi temperatur dan semakin lamanya variasi waktu tahan yang diberikan dalam proses PWHT dan adanya perbesaran butir kristal.

Katakunci: Baja A335 Grade P92, kekerasan, PWHT temperatur, waktu tahan

Abstract. A335 Grade P92 steel is a martensitic high temperature which widely-applcated on power plan component with high pressure therefor it is required high tightness. Martensitic properties of material caused the high hardness and easily crack. Thus, PWHT (*Post Weld Heat Treatment*) was mandatory for A335 Grade P92 welding. This research was analyzed the effect of temperature and holding time of PWHT on hardness of material A335 grade P92. Hardness test result was decreasing due to the increasing of temperature and longer of holding time of post weld heat treatment. Weld metal was obtained the highest hardness on specimen with 705°C of temperature and 60 minutes of holding time of post weld heat treatment with 302,85 kgf/mm², otherwise the lowest hardness was 285,13 kgf/mm² on 775°C of temperature and 120 minutes of holding time of PWHT on the base metal specimen. Microstructure result was obtained of ferrite, pearlite, and martensite on increasing of temperature and holding time of PWHT which shown the wider of grain.

Keywords: A335 Grade P92 steel, hardness, holding time, PWHT, temperature

1. Pendahuluan

Material A335 grade P92 merupakan material baja martensitik yang mengandung kromium, molibdenum, ditambahkan vanadium dan niobium, serta kandungan nitrogennya diatur dengan baik. Struktur mikro material A335 grade P92 dalam kondisi mentah terdiri dari martensit yang baru terbentuk. Sifat martensitik ini memiliki kekuatan yang rendah, mudah retak, serta terkena korosi tegangan, sifat martensitik yang dimiliki material tersebut, mengakibatkan baja jenis ini memiliki nilai hasil uji kekerasan tinggi. Hal ini yang mengakibatkan pengelasan pada material A335 grade P92 mensyaratkan wajib untuk dilakukan *Post Weld Heat Treatment* (PWHT). Selain itu karakter martensit yang baru terbentuk ini tidak diketahui kekuatan tarik mulurnya, maka diasumsikan keberadaannya tidak menguntungkan. ASME Sec. 1 mengatakan bahwa material A335 grade P92 yang merupakan P-Number 15E dan mandatori dilakukan PWHT. Proses perlakuan panas PWHT ini merupakan suatu proses perlakuan panas yang diberikan setelah proses pengelasan yang bertujuan untuk menghilangkan *residual stress* dan merestrukturisasi mikrostruktur yang telah diubah oleh panas pengelasan (Silva et al., 2020). Proses perlakuan panas setelah pengelasan PWHT proses ini dilakukan untuk mengurangi resiko patah getas dengan mengurangi tingkat tegangan sisa. Umumnya temperature PWHT yang digunakan pada material A335 grade P92 berkisar antara 745-775°C dengan lama waktu penahanan bergantung dengan ketebalan atau thickness material.

Dalam studi kasus ini, material A335 grade P92 merupakan material yang biasa diaplikasikan pada komponen power plan yang cenderung membutuhkan tekanan tinggi untuk pengoprasiannya oleh karena itu dibutuhkan material dengan ketebalan tinggi. Material dengan kekuatan tinggi, seperti baja tahan panas, memiliki sifat yang berbeda dengan material kekuatan rendah. Sifat-sifat ini dapat mempengaruhi hasil pengelasan, sehingga diperlukan perlakuan khusus untuk mendapatkan hasil yang baik. Perlakuan khusus tersebut meliputi pemanasan awal (*preheat*), temperatur interpass, dan parameter las (Budi Kurniyanto et al., 2022). Berdasarkan permasalahan tersebut, dilakukan penelitian lebih lanjut dengan melakukan variasi temperatur dan waktu tahan untuk mengetahui nilai kekerasan material A335 grade P92.

2. Tinjauan Pustaka

Baja paduan merupakan jenis baja dengan komposisi kimia yang mengandung selain unsur besi (Fe) dan unsur karbon (C). Baja paduan, juga dikenal sebagai baja paduan tinggi, memiliki penambahan unsur tambahan seperti kromium dan molibdenum. Penambahan unsur-unsur ini disesuaikan dengan kondisi penggunaan dan tujuan material, karena setiap penambahan unsur akan mempengaruhi sifat mekanis material tersebut. Komposisi kimia yang terkandung dalam material A335 grade P92 dan sifat mekaniknya pada Tabel 1.

Tabel 1 Komposisi Kimia A335 Grade P92

C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	V
0.07 - 0.13	0.3 - 0.6	Max 0.02	Max 0.01	Max 0.5	8.5 - 9.5	0.3 - 0.6	0.15 - 0.25

(ASME Sec II Part A, 2021)

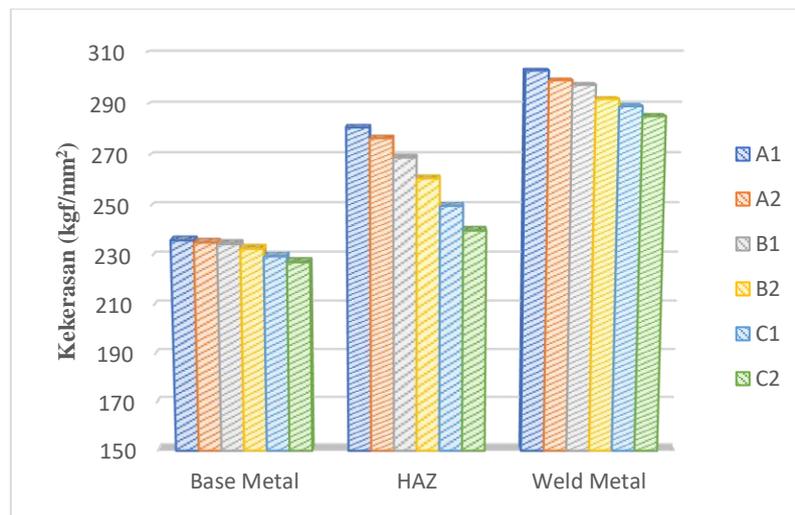
Pada material A335 grade P92 yang merupakan material *heat resistance* atau baja tahan panas yang memerlukan perlakuan khusus seperti pemanasan awal (*preheat*), *interpass temperature*, dan PWHT. Setelah dilakukan pengelasan material mengalami perubahan kekuatan dan menimbulkan adanya tegangan sisa, untuk itu perlu dilakukan PWHT bertujuan mengurangi tegangan sisa yang terjadi setelah proses pengelasan dan menurunkan nilai kekerasan (Rohmat et al., 2023), hal ini juga diatur dalam (ASME B31.1, 2022). Merujuk pada (ASME B31.1, 2022) bahwa material dengan P-No 15E tidak ada pengecualian ketebalan untuk proses *post weld heat treatment*. Penelitian ini temperatur dan waktu tahan dijadikan variasi, PWHT dilakukan pada temperatur 705°C, 740°C dan 775°C dengan waktu tahan 60 menit dan 120 menit, proses PWHT dilakukan menggunakan *furnace*.

3. Metode

Material logam induk yang digunakan untuk penelitian adalah material pipa baja paduan A335 grade P92 dengan diameter 22 inch dan ketebalan 50 mm. Logam pengisi yang digunakan adalah E9015-B9 dan E9018-B9 dengan proses pengelasan SMAW, parameter pengelasan yang digunakan sesuai dengan WPS. Proses pengelasan menggunakan *Shield Metal Arc Welding* dengan sambungan *V-groove butt joint* posisi pengelasan 1G. Sebelum dilakukan proses pengelasan perlu dilakukan proses *preheat* dikarenakan material A335 grade P92 *mandatory* atau wajib diberlakukan proses pemanasan awal sebelum dilakukannya proses pengelasan. Setelah selesai dilakukan proses pengelasan ini, selanjutnya dilakukan proses PWHT pada temperatur 705°C, 740°C dan 775°C dengan lama waktu tahan 60 menit dan 120 menit. Proses PWHT dilakukan menggunakan *furnace*, kemudian dilanjutkan dengan pengujian kekerasan dan strukturmikro pada spesimen hasil lasan. Mengacu pada ASME B31.3 *Temperature preheat* yang digunakan pada material A335 grade P92 sebesar 205°C.

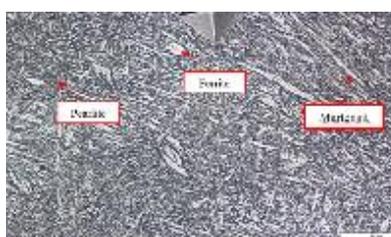
4. Hasil dan Pembahasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode vicker (kgf/mm²) pada bagian *weld metal*, HAZ, dan *weld metal* dengan menggunakan beban 2 kgf dengan waktu indentasi selama 10 detik. Penamaan spesimen pada pengujian *hardness* sebagai berikut: PWHT temperatur 705°C dan waktu tahan selama 60 menit (A1), PWHT pada temperatur 705°C dengan waktu tahan selama 120 menit (A2), PWHT dengan temperatur 740°C dengan waktu tahan yang diberikan selama 60 menit (B1), PWHT dengan temperatur 740°C dengan waktu tahan selama 120 menit (B2), PWHT temperatur sebesar 775°C dengan waktu tahan selama 60 menit (C1), PWHT pada temperatur 775°C dengan waktu tahan selama 120 menit (C2). Hasil pengujian nilai kekerasan spesimen dapat diamati pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik nilai kekerasan pada specimen uji

Berdasarkan Gambar 1 ditunjukkan hasil dari nilai kekerasan pada daerah logam induk merupakan yang terendah jika dibandingkan dengan HAZ dan lasan. Nilai kekerasan pada semua daerah pengelasan diperoleh tidak kurang dari 220 kgf/mm², yang mana hasil dari pengujian sesuai hasil penelitian telah diteliti oleh Caminada dkk pada 2012. Hasil penelitian dapat disnalisis bahwa variasi temperatur PWHT dan lama waktu tahan pada proses PWHT mempengaruhi nilai kekerasan, diperoleh bahwa makin tinggi temperatur PWHT dan makin lama waktu tahan yang diaplikasikan menjadikan nilai kekerasan pada logam induk, HAZ maupun logam lasan semakin rendah. Hasil strukturmikro diperoleh kenaikan pada temperatur dan lama waktu tahan pada proses PWHT menyebabkan ukuran butir yang dihasilkan semakin besar dan jarak antar butir semakin renggang. Semakin besar ukuran butir menyebabkan kekerasan semakin menurun. Pengaruh perlakuan panas pada material *grade* P92 diperoleh bahwa nilai kekerasan tertinggi dihasilkan oleh material tanpa perlakuan karena adanya fasa martensit yang belum ditemper sehingga menjadikan material keras dan rapuh, adanya proses PWHT terbukti akan menurunkan nilai kekerasan pada material dengan adanya perubahan struktur akhir pada antara material tersebut tanpa diberi perlakuan panas dan material diberi perlakuan panas.



Temperatur PWHT 705°C
ditahan 60 menit

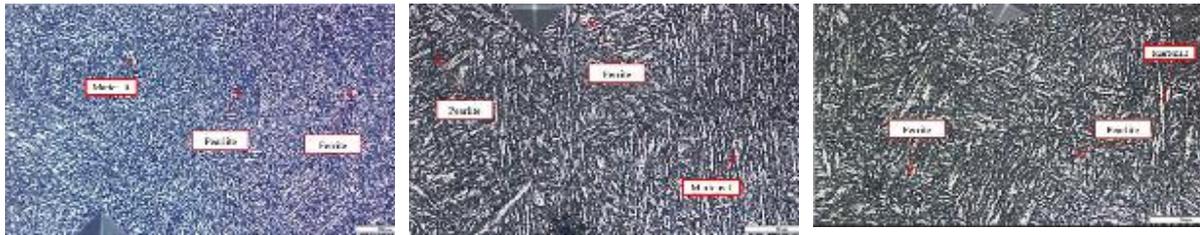


Temperatur PWHT 705°C
ditahan 120 menit



Temperatur PWHT 740°C
ditahan 60 menit

Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan *Post Weld Heat Treatment* terhadap Nilai Kekerasan Material A335 Grade P92

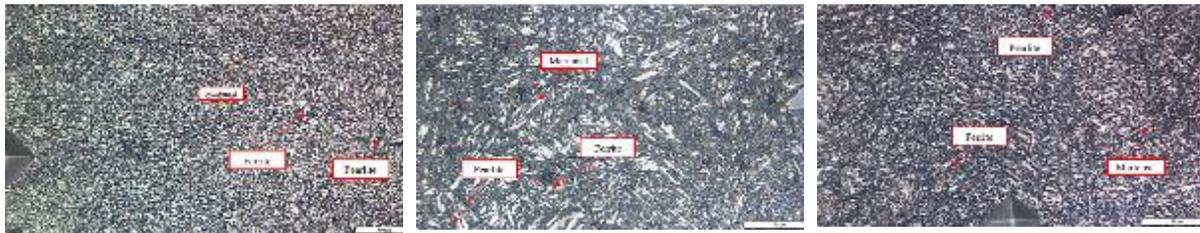


Temperatur PWHT 740°C
ditahan 120 menit

Temperatur PWHT 775°C
ditahan 60 menit

Temperatur PWHT 775°C
ditahan 120 menit

Gambar 2. Strukturmikro specimen di daerah logam induk



Temperatur PWHT 705°C
ditahan 60 menit

Temperatur PWHT 705°C
ditahan 120 menit

Temperatur PWHT 740°C
ditahan 60 menit

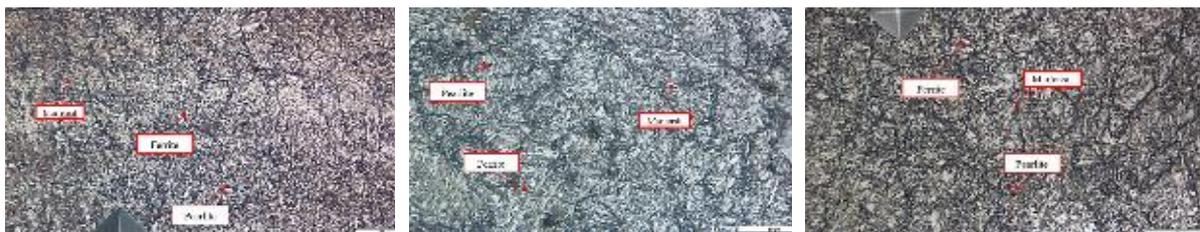


Temperatur PWHT 740°C
ditahan 120 menit

Temperatur PWHT 775°C
ditahan 60 menit

Temperatur PWHT 775°C
ditahan 120 menit

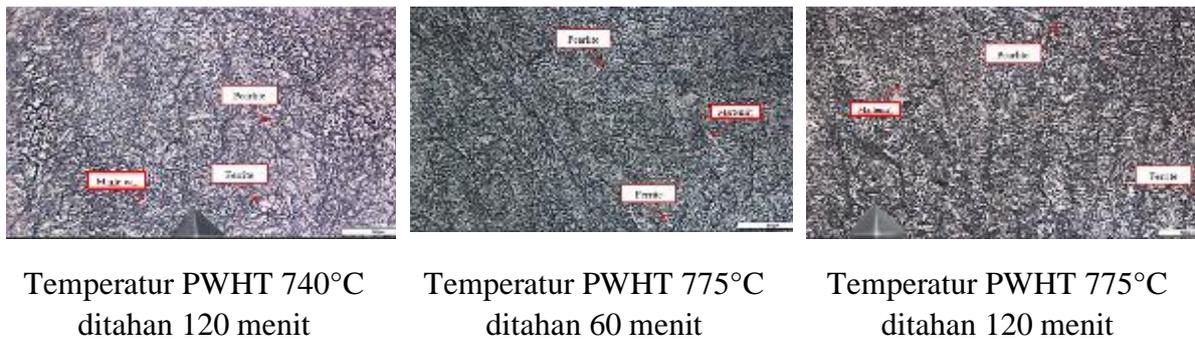
Gambar 3. Strukturmikro pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ)



Temperatur PWHT 705°C
ditahan 60 menit

Temperatur PWHT 705°C
ditahan 120 menit

Temperatur PWHT 740°C
ditahan 60 menit



Gambar 4. Strukturmikro pada daerah logam lasan

Berdasarkan hasil pengamatan strukturmikro di daerah logam las, HAZ, dan lasan dengan berbagai variasi pada temperatur dan variasi pada waktu tahan seperti terlihat pada Gambar 2 – 4 tersebut. Material A335 grade P92 pada dasarnya memiliki nilai kekerasan yang cukup tinggi dikarenakan komposisi penyusunnya adalah ferritik martensitik yang dapat dilihat bahwa fasa yang terbentuk adalah fasa ferit, perlit, dan martensit. Fasa ferit dengan warna terang dan fasa perlit dengan warna gelap, sedangkan untuk fasa martensit ditandai dengan bentuk menyerupai jarum. Fasa yang terbentuk dari hasil uji strukturmikro setelah dilakukan proses PWHT selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh (Caminada et al., 2012), dimana setelah mengalami proses PWHT fasa yang terbentuk pada material A335 grade P92 mengkonfirmasi adanya butiran halus dengan struktur martensit temper. Sehubungan dengan kondisi *as-welded*, presipitasi karbida yang menonjol diamati di tepi butir bersama dengan penurunan nilai kekerasan yang nyata. Hal ini terkait erat dengan efek tempering tambahan pada struktur martensitik akibat PWHT.

Fasa perlit pada baja paduan tersusun dari ferit dan sementit, ferit ditunjukkan oleh warna terang sedangkan sementit ditunjukkan oleh warna gelap. Fasa perlit untuk baja paduan berbentuk lamelar atau selang-seling yaitu ferit dan sementit yang terbentuk secara Bersama-sama selama proses transformasi. Sedangkan fasa ferit yang terbentuk pada *hypoeutectoid* adalah ferit *proeutectoid* dan ferit *eutectoid*. Ferit *proeutectoid* terbentuk sebelum terjadinya reaksi *eutectoid* pada temperatur di bawah A1, sedangkan ferit *eutectoid* adalah ferit yang terdapat dalam perlit.

Proses PWHT merupakan proses yang penting dilakukan pada pengelasan material grade P92, pada dasarnya material grade P92 memiliki nilai kekerasan yang sangat tinggi sebelum dilakukannya proses perlakuan panas, hal ini disebabkan adanya fase martensit *non tempered* yang memiliki sifat keras dan rapuh. Proses PWHT terbukti menurunkan nilai kekerasan pada material grade 91 (Silva et al., 2020). Martensit terbentuk pada baja paduan karena penambahan unsur paduan, yang menyebabkan ferit berubah menjadi martensit bergantung pada transformasi suhu serta laju pendinginannya.

Dapat diamati pada Gambar 2 – 4, bahwasannya spesimen yang mengalami waktu tahan 60 menit lebih rapat dibandingkan dengan spesimen yang mengalami waktu tahan 120 menit. Maka dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu tahan pada proses PWHT, ukuran lebar butir akan bertambah besar dikarenakan adanya waktu yang cukup untuk butiran bertambah besar akibat dari semakin lamanya variasi waktu tahan maka kekerasan yang dihasilkan oleh material akan semakin menurun. Hal ini diakibatkan selaras dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Wibowo dkk tahun 2021 yang lalu.

5. Kesimpulan

Pengaruh variasi pada temperatur PWHT dan variasi waktu tahan PWHT pada material A335 grade P92 terhadap nilai kekerasan adalah makin tinggi variasi temperatur PWHT dan makin lama variasi waktu tahan nilai kekerasan dari material akan makin turun. Dibuktikan dengan variasi pada variasi temperatur untuk PWHT 705°C dan variasi pada lama waktu tahan PWHT selama 60 menit menghasilkan nilai kekerasan pada daerah logam lasan sebesar 302.84 kgf/mm². Sedangkan dengan variasi pada temperature PWHT pada 775°C dan variasi lama pada waktu tahan PWHT selama 120 menit dihasilkan nilai uji kekerasan pada daerah logam lasan sebesar 285. kgf/mm².

6. Ucapan terima kasih

Tim penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada P3M Politeknik.Perkapalan Negeri Surabaya atas dukungan Dana Hibah Penelitian DIPA 2024 yang diberikan kepada tim penulis sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

7. Daftar Pustaka

- Asme. (2022). *Power Piping ASME Code for Pressure Piping, B31*. <http://go.asme.org/B31committee>.
- ASME sec II part A*. (n.d.). www.asme.org/cer
- ASME sec II part C*. (n.d.). www.asme.org/cer
- Budi Kurniyanto, H., Hadi Pratama, D., Khoirul, I. R., Thoriq Wahyudi, M., Perkapalan Negeri Surabaya, P., & Inka Multi Solusi, P. (n.d.). MECHANICAL PROPERTIES OF REPAIR WELDING HIGH YIELD STRENGTH STRUCTURAL STEEL S690Q (SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN LAS HASIL REPAIR BAJA STRUKTUR HIGH YIELD STRENGTH S690Q). *Journal Renewable Energy & Mechanics (REM) E-ISSN, 05(01)*, 2714–621. [https://doi.org/10.25299/rem.2022.vol5\(01\).8782](https://doi.org/10.25299/rem.2022.vol5(01).8782)
- Caminada, S., Cumino, G., & Lauro, A. (2012). Experiences in the use of advanced materials for Ultra Super Critical thermoelectric power plants: ASTM P92 grade and its weldability. *Welding International, 26(12)*, 910–920. <https://doi.org/10.1080/09507116.2011.592702>
- Process Piping ASME Code for Pressure Piping, 831 AN INTERNATIONAL PIPING CODE®*. (2023). <http://go.asme.org/831committee>
- Rohmat, I. K., Amri, Moh. S., Munir, M. M., Kurniyanto, H. B., & Muzzakki, M. H. (2023). ANALISIS HOLDING TIME POST WELD HEAT TREATMENT (PWHT) PADA PENGELASAN MATERIAL SA-213 GRADE T91 DENGAN SA-213 GRADE T22 UNTUK APLIKASI BOILER. *Jurnal Rekayasa Mesin, 14(1)*, 317–329. <https://doi.org/10.21776/jrm.v14i1.1304>
- Silva, F. J. G., Pinho, A. P., Pereira, A. B., & Paiva, O. C. (2020). Evaluation of welded joints in P91 steel under different heat-treatment conditions. *Metals, 10(1)*. <https://doi.org/10.3390/met10010099>