

## Pengaruh Penambahan Titanium Terhadap Kekuatan Material Baja Sebagai Bahan *Shielding* Alutsista Pertahanan

Mufti Labib Ahmada<sup>1</sup>, Sovian Aritonang<sup>1\*</sup>, Riri Murniati<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitas Pertahanan Republik Indonesia

Kawasan Indonesia Peace and Security Center (IPSC) Sentul Bogor Jawa Barat, Indonesia

\*Email: [sovia.aritonang@idu.ac.id](mailto:sovia.aritonang@idu.ac.id), [mufti.ahmada@mipa.idu.ac.id](mailto:mufti.ahmada@mipa.idu.ac.id)

### ABSTRACT

*The addition of titanium to steel materials has been a significant research focus in the metallurgical industry. This research aims to investigate the effect of titanium addition on the mechanical and structural properties of steel. Titanium is an interesting element in this context because it has properties that can improve the performance of steel, such as strength, corrosion resistance, and resistance to high temperatures. The addition of titanium to various types of steel has been shown to increase their strength and mechanical properties, primarily by forming titanium carbide or sulfide deposits that reduce grain growth and increase toughness and high temperature resistance. This could open up opportunities to develop high-strength steel with the addition of titanium for applications that require superior mechanical properties, such as for shielding defense equipment.*

**Keyword:** Titanium, Steel, Strength.

### PENDAHULUAN

Baja telah menjadi salah satu bahan konstruksi yang paling umum digunakan dalam berbagai aplikasi industri, seperti konstruksi bangunan, otomotif, penerbangan, dan banyak lagi. Kekuatan dan ketahanan material baja adalah faktor kunci dalam keberhasilan aplikasi-aplikasi ini. Oleh karena itu, terus meningkatkan sifat-sifat mekanik baja adalah suatu hal yang sangat penting dalam rangka meningkatkan kinerja material ini.

Salah satu metode yang telah banyak diteliti untuk meningkatkan sifat-sifat mekanik baja adalah penambahan berbagai unsur paduan. Titanium (Ti) adalah salah satu material yang telah menarik perhatian peneliti dalam upaya meningkatkan performa baja. Ti adalah senyawa anorganik yang umumnya ditemukan dalam bentuk bubuk padat dan telah digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam industri cat, plastik, dan bahkan dalam bidang energi.

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa penambahan Ti dalam baja dapat mempengaruhi berbagai sifat material seperti kekuatan tarik, kekerasan, ketahanan aus, dan sifat-sifat korosi. Namun, meskipun ada bukti awal yang menjanjikan, masih banyak aspek yang perlu dipahami dengan lebih baik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki secara lebih mendalam pengaruh penambahan Ti pada baja dan bagaimana parameter seperti konsentrasi, metode pencampuran, dan pengolahan termal memengaruhinya.

Dalam konteks ini, pemahaman yang lebih mendalam tentang pengaruh Ti pada baja dapat membawa manfaat signifikan dalam berbagai aplikasi industri. Misalnya, pemahaman yang lebih baik tentang peningkatan kekuatan baja melalui penambahan Ti dapat membantu mengurangi penggunaan material dan mengurangi biaya produksi, sementara meningkatkan kualitas produk. Selain itu, dalam aplikasi yang membutuhkan ketahanan terhadap korosi atau suhu tinggi, pemahaman tentang pengaruh Ti dapat membantu dalam pengembangan material yang lebih tahan lama. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih baik tentang potensi penambahan Ti dalam meningkatkan kekuatan dan sifat-sifat mekanik baja serta mendorong pengembangan material yang lebih unggul untuk aplikasi masa depan.

Tujuan penelitian dalam paper review ini adalah untuk menganalisis secara komprehensif penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dalam domain ini, dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi Pola atau Tren Terkait: Menentukan apakah penambahan titanium secara konsisten meningkatkan atau mengurangi kekuatan material baja. Ini akan membantu dalam

- memahami apakah ada efek yang signifikan dan dapat diandalkan yang dapat diharapkan dari penambahan ini.
2. Mengevaluasi Metodologi Penelitian: Melakukan penilaian kritis terhadap metodologi yang digunakan dalam studi-studi yang telah dilakukan. Hal ini mencakup jenis baja yang digunakan, konsentrasi titanium, prosedur pengujian kekuatan, dan metode analisis yang digunakan.
  3. Mengidentifikasi Variabel Penting: Mengidentifikasi variabel-variabel kunci yang mempengaruhi hasil, seperti jenis baja, konsentrasi titanium, dan metode pengujian. Ini akan membantu dalam memahami faktor-faktor yang paling berperan dalam pengaruhnya terhadap kekuatan material.
  4. Menyimpulkan Temuan: Menggambarkan kesimpulan dari studi-studi yang telah dilakukan dan apakah terdapat konsistensi dalam temuan-temuan tersebut. Apakah ada konsensus ilmiah tentang efek penambahan titanium terhadap kekuatan baja?
  5. Memberikan Rekomendasi untuk Penelitian Selanjutnya: Berdasarkan temuan-temuan dari penelitian yang telah di-review, memberikan rekomendasi tentang arah penelitian yang mungkin. Ini dapat mencakup pengujian lebih lanjut dengan variasi variabel tertentu, eksperimen kontrol yang lebih ketat, atau pengembangan teori yang lebih baik.
  6. Membantu dalam Pengambilan Keputusan: Tujuan utama dari review ini adalah memberikan wawasan kepada pembaca tentang apakah penambahan titanium dapat diandalkan untuk meningkatkan atau mengurangi kekuatan material baja, sehingga dapat membantu dalam pengambilan keputusan dalam industri atau penelitian lebih lanjut.

Dengan mencapai tujuan-tujuan ini, penelitian paper review ini akan menyediakan informasi yang berharga bagi para ilmuwan, insinyur, dan pemangku kepentingan lainnya yang tertarik dalam memahami dampak penambahan titanium pada kekuatan material baja.

#### **Perubahan Struktur Mikro Baja:**

Ketika Ti ditambahkan ke dalam baja, serbuk Ti dapat tercampur dengan struktur mikro baja. Distribusi homogen atau heterogen serbuk Ti dalam baja dapat memengaruhi sejauh mana sifat-sifat material berubah. Ukuran partikel Ti dapat memengaruhi sifat material. Partikel yang lebih kecil mungkin lebih mudah tersebar dalam baja[1].

#### **Pengaruh Terhadap Kekuatan Mekanik Baja:**

Ti dapat bertindak sebagai agen pematatan dalam struktur mikro baja, sehingga meningkatkan kekuatan tariknya. Penambahan Ti dapat meningkatkan kekuatan lendutan baja, yang dapat berguna dalam aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap deformasi plastis atau patah[2].

#### **Pengaruh Terhadap Sifat Korosi:**

Ti memiliki sifat anti-korosi yang dapat membantu melindungi permukaan baja dari oksidasi dan korosi. Perubahan potensial elektrokimia pada permukaan baja akibat Ti dapat memengaruhi tingkat korosi[3].

#### **Pengaruh Terhadap Ketahanan Suhu Tinggi:**

Penambahan Ti dapat meningkatkan ketahanan baja terhadap suhu tinggi dengan membentuk senyawa stabil pada suhu tinggi[4].

#### **Pengaruh Terhadap Sifat Mekanik Lainnya:**

Ti dapat mempengaruhi kekerasan baja, tergantung pada konsentrasi dan cara distribusi dalam struktur mikro. Sifat ketangguhan baja juga bisa dipengaruhi oleh penambahan Ti, terutama dalam kondisi pengujian tertentu[4].

**Pengaruh Parameter Proses:**

Metode pencampuran Ti ke dalam baja (misalnya, proses cairan atau paduan serbuk) dapat memengaruhi sejauh mana Ti terintegrasi dalam baja. Suhu dan waktu pengolahan termal dapat memengaruhi reaksi dan difusi Ti dalam struktur mikro baja[3].

**METODOLOGI**

Metodologi penelitian paper review ini dibagi menjadi beberapa langkah. Dalam review paper ini, saya menyusun dan menganalisis studi-studi sebelumnya yang telah dilakukan oleh peneliti lain dalam bidang ini. Berikut adalah langkah-langkah yang saya lakukan:

1. Identifikasi Tujuan Review: Pertama, ditentukan tujuan utama dari review ini, misalnya untuk menyelidiki efek penambahan titanium pada kekuatan material baja, kemudian didefinisikan pertanyaan penelitian yang akan dijawab dalam paper review ini.
2. Pencarian Literatur: Dilakukan pencarian literatur menggunakan basis data seperti PubMed, IEEE Xplore, Google Scholar, atau database lain yang relevan. Digunakan kata kunci yang sesuai, seperti "pengaruh titanium pada kekuatan material baja" atau variasinya. Dipastikan untuk mencari artikel-artikel yang relevan dan berkualitas tinggi.
3. Seleksi Artikel: Setelah saya mengumpulkan sejumlah artikel, dilakukan seleksi untuk memilih artikel yang paling relevan dengan topik penelitian saya. Artikel-artikel yang dipilih harus memenuhi kriteria tertentu, seperti kebaruan, kualitas metodologi, dan relevansi dengan topik.
4. Analisis Artikel: Baca dan analisis artikel-artikel yang dipilih secara menyeluruh. Catat informasi penting seperti jenis baja yang digunakan, metode penambahan titanium, konsentrasi yang digunakan, proses pengujian kekuatan material, dan hasil yang ditemukan.
5. Evaluasi Metodologi: Evaluasi metodologi yang digunakan dalam setiap artikel yang direview. Ditinjau apakah desain eksperimen, sampel, dan metode analisis sesuai dengan standar ilmiah dan apakah ada potensi bias dalam studi tersebut.
6. Bandingkan Hasil: Bandingkan hasil dari berbagai artikel yang direview. Identifikasi pola atau tren yang muncul dari hasil-hasil ini dan lihat apakah ada konsistensi dalam temuan-temuan tersebut.
7. Kesimpulan: Buat kesimpulan berdasarkan analisis tentang efek penambahan titanium terhadap kekuatan material baja. Didiskusikan temuan-temuan yang relevan dan apakah ada konsensus di antara peneliti dalam literatur yang Saya tinjau.
8. Rekomendasi: Diberikan rekomendasi berdasarkan hasil review. Disarankan arah penelitian yang mungkin untuk mendalami masalah ini atau identifikasi area yang memerlukan penelitian lebih lanjut.
9. Penyusunan Review Paper: Tulis paper review Saya sesuai dengan format yang diperlukan, termasuk pendahuluan, tinjauan pustaka, metodologi review, analisis hasil, kesimpulan, dan daftar pustaka.
10. Edit dan Koreksi: Periksa dan sunting paper review untuk memastikan kualitasnya. Pastikan semua kutipan dan referensi telah ditulis dengan benar.
11. Publikasikan atau Bagikan: Jika paper review telah diselesaikan dengan baik, dapat diputuskan untuk mempublikasikannya di jurnal ilmiah atau membagikannya dengan rekan-rekan dalam komunitas ilmiah.

**HASIL**

Tabel 1. Analisa penelitian yang sudah pernah dilakukan

Paper	Major concern	Methods	Result	Advantages
<i>Yield strength enhancement of martensitic steel through titanium addition</i> [5]	Peningkatan kekuatan hasil untuk baja martensit yang dibuat dengan peleburan	peleburan	Ditemukan bahwa penambahan Ti dapat meningkatkan sifat kekuatan luluh baja martensit, yang dapat dikaitkan	Hasil eksperimen dan teoritis mengenai kontribusi presipitat TiC terhadap pengerasan baja martensit sangat sesuai,

Paper	Major concern	Methods	Result	Advantages
	induksi vakum diselidiki.		dengan peningkatan pengerasan presipitasi dari pembentukan endapan TiC dalam matriks martensit. Selain itu, kekuatan luluh dapat lebih ditingkatkan dengan proses pendinginan tempering dan pemanasan ulang, yang dapat dianggap berasal dari pembentukan butiran berukuran sangat halus (*8akum) butiran dan sejumlah besar endapan segar berukuran nano (1–10 nm) dalam struktur martensit akhir untuk baja martensit yang mengandung Ti.	menunjukkan bahwa pengerasan presipitasi sebesar 188 MPa yang disebabkan oleh presipitat TiC adalah alasan utama mengapa kekuatan luluh baja martensit ditingkatkan melalui penambahan titanium
<i>The effects of titanium additions on AF1410 ultra-high-strength steel</i> [6-7]	Pengaruh Penambahan Titanium pada Baja Kekuatan Ultra Tinggi AF1410	Sifat mekanik dan struktur mikro dari dua baja panas AF1410 dibandingkan. Panas pertama, panas 811, mengandung 0,02 persen berat tambahan titanium, sedangkan panas kedua, panas 91, tidak mengandung titanium, mangan, atau bahan pembentuk sulfida kuat lainnya.	Ketangguhan termal 811 ditemukan jauh lebih baik daripada 91, dengan energi tumbukan Charpy sebesar 176 J dan 79 J serta nilai ketangguhan patah Kic masing-masing sebesar 235 MPa.m dan 170 MPa.m*. ketangguhannya disebabkan oleh fakta bahwa partikel titanium karbosulfida lebih tahan terhadap nukleasi rongga dibandingkan partikel kromium sulfida, yang tampaknya membentuk rongga nukleasi pada awal regangan plastik.	Karbida ini bertindak sebagai penghambat pertumbuhan butir, menghasilkan ukuran dan ukuran butir austenit yang lebih halus. paket martensit pada panas 811.
<i>The development of Ti-alloyed high strength microalloy steel</i> [7-8]	Pengembangan baja mikroalloy berkekuatan tinggi paduan Ti	Dalam penelitian ini, baja dengan kandungan Ti yang berbeda dimurnikan dan ditempa. Uji tarik dilakukan dan struktur mikro sampel	Hasilnya menunjukkan bahwa endapan Ti skala nano merupakan faktor utama yang meningkatkan kekuatan baja. Kekuatan baja meningkat seiring	Baja paduan Ti merupakan baja yang mempunyai potensi kekuatan tinggi. Penelitian ini menunjukkan bahwa baja paduan Ti dapat digunakan untuk menggantikan baja

Paper	Major concern	Methods	Result	Advantages
		dianalisis. Endapan halus diamati menggunakan mikroskop elektron transmisi.	dengan bertambahnya kandungan Ti. Kisaran kandungan optimal titanium adalah antara 0,04 dan 0,10% berat, sedangkan di bawah 0,04% berat dan lebih tinggi dari 0,10% berat, Ti memiliki pengaruh yang kecil terhadap kekuatan baja.	paduan Nb atau Nb dan V.
<i>Improvement of Creep Strength of 9CrODS Martensitic Steel by Controlling Excess Oxygen and Titanium Concentrations</i> [9-10]	Pengaruh komposisi kimia (titanium, oksigen) dan suhu konsolidasi pada sifat mekanik suhu tinggi baja yang diperkuat dispersi 9CrODS (baja 9CrODS)	senyawa lik (Fe <sub>2</sub> Y) bubuk, dan besi oksida (Fe <sub>2</sub> HAI <sub>3</sub> ) serbuk dicampur secara mekanis dalam ball mill tipe atrisi dengan kecepatan putar 220 putaran per menit (rpm) selama 48 jam dalam atmosfer gas Ar. Konsentrasi titanium dikontrol dengan mengubah jumlah bubuk titanium dalam campuran bubuk. Konsentrasi oksigen dikontrol dengan mengatur jumlah Fe <sub>2</sub> Y dan Fe <sub>2</sub> HAI <sub>3</sub> bubuk dalam campuran.	Kekuatan mulur baja 9CrODS pada 973K meningkat pesat ketika konsentrasi titanium adalah 0,35% massa. Jumlah titanium tambahan yang lebih tinggi dari 0,2% massa efektif untuk menghasilkan produksi baja 9CrODS berkekuatan tinggi yang andal secara konsisten karena mengurangi efek kontaminasi oksigen pada kekuatan suhu tinggi. Fraksi butiran --ferit memanjang, yang memiliki dispersi partikel oksida ultra-halus, cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya titanium. Butir memanjang dianggap meningkatkan kekuatan mulur baja 9CrODS. Ditemukan juga bahwa kekuatan mulur menurun dengan menaikkan suhu konsolidasi dari 1423K menjadi 1473K.	Peningkatan konsentrasi titanium dari 0,2 menjadi 0,46% massa sangat mengurangi efek kelebihan oksigen pada kekuatan mulur dan sifat tarik. Meningkatkan konsentrasi titanium efektif untuk memproduksi baja 9CrODS berkekuatan tinggi.

Penelitian *Yield Strength Enhancement of Martensitic Steel through Titanium Addition* berfokus pada peningkatan kekuatan baja martensit dengan menambahkan titanium melalui proses peleburan induksi vakum, sedangkan penelitian *The Effects of Titanium Additions on AF1410 Ultra-High-*

*Strength Steel* membandingkan sifat mekanik dan struktur mikro dari dua jenis baja AF1410, salah satunya mengandung tambahan titanium. Penelitian *The Development of Ti-Alloyed High-Strength Microalloy Steel* mengevaluasi pengaruh kandungan titanium yang berbeda dalam baja mikroalloy terhadap sifat mekaniknya. Penelitian *Improvement of Creep Strength of 9CrODS Martensitic Steel by Controlling Excess Oxygen and Titanium Concentrations* berfokus pada peningkatan kekuatan baja 9CrODS dengan mengontrol konsentrasi titanium dan oksigen.

Hasil penelitian *Yield Strength Enhancement of Martensitic Steel through Titanium Addition* menunjukkan bahwa penambahan titanium dapat meningkatkan sifat kekuatan luluh baja martensit, terutama karena pengerasan presipitasi yang disebabkan oleh pembentukan endapan titanium karbida (TiC) dalam matriks martensit. Selain itu, kekuatan luluh dapat lebih ditingkatkan dengan proses pendinginan tempering dan pemanasan ulang, sedangkan hasil penelitian *The Effects of Titanium Additions on AF1410 Ultra-High-Strength Steel* menunjukkan bahwa baja dengan tambahan titanium memiliki ketangguhan termal yang lebih baik, ditandai dengan energi tumbukan Charpy yang lebih tinggi dan nilai ketangguhan patah Kic yang lebih besar. Partikel titanium karbosulfida dalam baja lebih tahan terhadap nukleasi rongga dibandingkan dengan partikel kromium sulfida, yang membantu meningkatkan ketangguhan baja dengan menahan pertumbuhan rongga. Hasil penelitian *The Development of Ti-Alloyed High-Strength Microalloy Steel* menunjukkan bahwa penambahan titanium dalam bentuk endapan skala nano adalah faktor utama yang meningkatkan kekuatan baja. Kandungan optimal titanium berkisar antara 0,04 hingga 0,10% berat, di mana peningkatan kandungan titanium meningkatkan kekuatan baja. Terakhir, hasil penelitian *Improvement of Creep Strength of 9CrODS Martensitic Steel by Controlling Excess Oxygen and Titanium Concentrations* menunjukkan bahwa konsentrasi titanium yang lebih tinggi menghasilkan peningkatan kekuatan mulur pada suhu tinggi. Titanium membantu mengurangi efek kontaminasi oksigen pada kekuatan suhu tinggi dan meningkatkan fraksi butiran ferit memanjang, yang memiliki partikel oksida ultra-halus, sehingga meningkatkan kekuatan mulur.

### Keuntungan

Kontribusi presipitat TiC terhadap pengerasan baja martensit sangat sesuai, dan pengerasan presipitasi oleh TiC adalah alasan utama mengapa kekuatan luluh baja martensit ditingkatkan melalui penambahan titanium. Karbida titanium karbosulfida juga berperan sebagai penghambat pertumbuhan butiran, menghasilkan ukuran butiran austenit yang lebih halus dan paket martensit yang lebih padat. Baja paduan titanium memiliki potensi kekuatan tinggi dan dapat digunakan sebagai alternatif untuk baja paduan lainnya seperti baja paduan Nb atau Nb dan V. Selain itu, peningkatan konsentrasi titanium efektif untuk memproduksi baja 9CrODS berkekuatan tinggi secara konsisten.

### KESIMPULAN

Kesimpulannya, penambahan titanium dalam berbagai jenis baja telah terbukti meningkatkan kekuatan dan sifat mekaniknya, terutama dengan membentuk endapan titanium karbida atau sulfida yang mengurangi pertumbuhan butiran dan meningkatkan ketangguhan serta ketahanan suhu tinggi. Hal ini dapat membuka peluang untuk mengembangkan baja berkekuatan tinggi dengan penambahan titanium untuk aplikasi yang membutuhkan sifat mekanik yang unggul seperti untuk shielding alutsista pertahanan.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. F. M. N. V. S. Wiranegara, "Precision Mold Of Prototype Titanium Orthopedic Implant Using Metal Injection Molding Approach," *Rekayasa Mesin*, vol. 11, 2020.
- [2] A. Wisnujati, M. Yusuf, and A. Hudiarta, "Karakterisasi Pengecoran Poros Berulir (Screw) Dengan Variabel Paduan Unsur Titanium Boron Dan Magnesium," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 13, no. 1, pp. 29–36, Jun. 2022, doi: 10.21776/ub.jrm.2022.013.01.4.

- ◆ 
- [3] T. Taufikurohmah, S. Tjahjani, G. Made Sanjaya, A. Baktir, and A. Syahrani, “Uji Aktifitas Tabir Surya Nano-Titanium Oksida Untuk Mendukung Formula Kosmetik Antiaging Khusus Menghambat Penuaan Akibat Sinar Matahari.”
  - [4] J. M. Windajanti and D. H. Djoko Santjojo, “Pembentukan Titanium Nitrida(Tin) Dengan Proses Nitriding Pada Titanium Murni Menggunakan Plasma Densitas Tinggi,” *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 83–90, 2017.
  - [5] L. Xu, J. Shi, W. Q. Cao, M. Q. Wang, W. J. Hui, and H. Dong, “Yield strength enhancement of martensitic steel through titanium addition,” *J Mater Sci*, vol. 46, no. 10, pp. 3653–3658, May 2011, doi: 10.1007/s10853-011-5282-5.
  - [6] Siregar, Ahmad Marabdi, and C. A. Siregar. “Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi.” *Rekayasa Saluran Gas Buang Sepeda Motor Guna Mengurangi Pencemaran Udara* 2(2):160–66, 2020.
  - [7] L. E. Iorio and J. M. Garrison, “The effects of titanium additions on AF1410 ultra-high-strength steel,” *Metall Mater Trans A Phys Metall Mater Sci*, vol. 37, no. 4, pp. 1165–1173, Apr. 2006, doi: 10.1007/s11661-006-1094-7.
  - [8] G. Xu, X. Gan, G. Ma, F. Luo, and H. Zou, “The development of Ti-alloyed high strength microalloy steel,” *Mater Des*, vol. 31, no. 6, pp. 2891–2896, Jun. 2010, doi: 10.1016/j.matdes.2009.12.032.
  - [9]. E. Eswanto, H. Hasan, Z. M. Razlan, “An Analysis on the Performance of Pico-hydro with Archimedes Screw Model Viewed from the Turbine Shaft Angle”, *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*, Vol. 36, No. 01, (2023): 10-18. doi: 10.5829/ije.2023.36.01a.02
  - [10] S. Ohtsuka, S. Ukai, M. Fujiwara, T. Kaito, and T. Narita, “Improvement of Creep Strength of 9CrODS Martensitic Steel by Controlling Excess Oxygen and Titanium Concentrations.”