

**PENGARUH TEMPERATUR *SOLUTION TREATMENT* DAN
AGING TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR
MIKRO INCONEL 718 HASIL *SPARK PLASMA SINTERING***

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh:

Rifqi Makarim
3334200054

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON - BANTEN**

2024

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH TEMPERATUR *SOLUTION TREATMENT* DAN
AGING TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR
MIKRO INCONEL 718 HASIL *SPARK PLASMA SINTERING***

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

Pembimbing I



Prof. Alfirano, ST, MT, Ph.D
NIP. 197406292003121001

Pembimbing II



Prof. Dr. Efendi, S.T., M.T
NIP. 197001051996031002

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH TEMPERATUR *SOLUTION TREATMENT* DAN
AGING TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR
MIKRO INCONEL 718 HASIL *SPARK PLASMA SINTERING***

SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh :

Rifqi Makarim

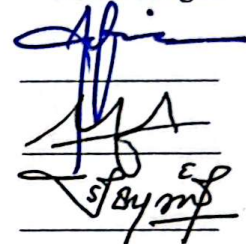
3334200054

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal
18 September 2024

Susunan Dewan Penguji

Penguji I : Prof. Alfirano, ST, MT, Ph.D
Penguji II : Prof. Dr. Efendi, S.T., M.T
Penguji III : Suryana, S.T., M.Si

Tanda Tangan



Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik



Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Metalurgi

Abdul Aziz, ST., MT., Ph. D.

NIP. 198003072005011002

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Pengaruh Temperatur *Solution Treatment* dan *Aging*
Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Inconel 718
Hasil *Spark Plasma Sintering*

Nama Mahasiswa : Rifqi Makarim

NIM : 3334200054

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut adalah benar-benar hasil asli karya saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, Juni 2024



Rifqi Makarim

NIM. 3334200054

ABSTRAK

Pada penelitian ini telah dilakukan fabrikasi Inconel 718 menggunakan teknologi *spark plasma sintering* dengan temperatur 950°C dengan *heating rate* 50°C / menit, tekanan sebesar 16 kN, dan *holding time* selama 30 menit. Kemudian dilakukan *solution treatment* pada temperatur 900°C, 1000°C, dan 1100°C dengan *holding time* selama 3 jam lalu dilakukan *aging* pada temperatur 675°C, 725°C, dan 775°C dengan *holding time* selama 8 jam dengan media *quenching* air. Untuk mengetahui struktur mikro dan sifat mekanik dari sampel Inconel 718 dilakukan pengujian yang meliputi analisis struktur mikro pada morfologi permukaan menggunakan *optical microscope*, analisis sifat mekanik berupa pengujian densitas, uji tekan, dan uji kekerasan yang masing-masing menggunakan metode archimedes, alat *universal testing machine*, dan alat *vickers microhardness*. Dari hasil pengamatan metalografi didapatkan untuk sampel *solution treatment* 900°C + *aging* memiliki ukuran dan kandungan fasa δ yang lebih besar dibandingkan dengan sampel *solution treatment* 1000°C + *aging* dan sampel *solution treatment* 1100°C + *aging*. Dari analisis densitas didapatkan nilai densitas relatif tertinggi pada temperatur *solution treatment* 1100°C + *aging* 725°C yaitu 96,4% dan nilai densitas relatif terendah pada temperatur *solution treatment* 900°C + *aging* 775°C yaitu 90,3%. Dari uji tekan didapatkan kekuatan tekan tertinggi paduan Inconel 718 pada sampel dengan *solution treatment* 1000°C + *aging* menunjukkan kekuatan luluh tertinggi yaitu 4734 MPa. Dari uji *vickers* didapatkan nilai kekerasan tertinggi pada sampel yang di-*solution treatment* pada temperatur 1000°C + *aging* 725°C dengan nilai kekerasannya 470,9 HV. Setelah dilakukan *solution treatment* dan *aging*, nilai kekerasan dan sifat tekan meningkat secara signifikan karena pengendapan fasa γ'' dan γ' selama proses *aging*.

Kata Kunci: Inconel 718, *Spark Plasma Sintering*, *Heat Treatment*, Struktur Mikro, Sifat Mekanik.

KATA PENGANTAR

Puji syukur Penulis panjatkan kepada Allah swt. atas berkat dan rahmat-Nya sehingga Penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Temperatur *Solution Treatment* dan *Aging* Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Inconel 718 Hasil *Spark Plasma Sintering*”. Skripsi ini bertujuan untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar sarjana seperti yang telah tercantum dalam kurikulum Program Studi S1 Jurusan Teknik Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mengarahkan dan membimbing dalam pengerjaan proposal skripsi sehingga dapat terselesaikan dengan baik. Ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada :

1. Bapak Abdul Aziz, ST., MT., Ph. D. selaku Ketua Program Studi Teknik Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Ibu Andinnie Juniarsih, S.T., M.T. selaku Koordinator Skripsi Jurusan Teknik Metalurgi.
3. Bapak Prof Dr. Alfirano, S.T., M.T., Ph.D selaku pembimbing pertama Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
4. Bapak Prof. Efendi Mabururi selaku pembimbing lapangan di BRIN Serpong.
5. Kedua orang tua, kakak, adik, dan teman-teman yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam penyusunan skripsi.
6. Seluruh pihak yang telah berpartisipasi dalam penyusunan skripsi.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan proposal skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama. Atas perhatiannya, penulis ucapkan terima kasih.

Cilegon, Juni 2024

Rifqi Makarim

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Ruang Lingkup	6
1.5 Sistematika Penulisan	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Inconel 718	9
2.2 <i>Spark Plasma Sintering</i>	11
2.3 Metalurgi Serbuk	13

2.3.1 <i>Mixing</i>	13
2.3.2 Kompaksi.....	14
2.3.3 <i>Sintering</i>	16
2.4 Pengaruh Temperatur <i>Solution Treatment</i> dan <i>Aging</i> Terhadap Sifat Mekanik.....	19
2.5 Pengaruh Temperatur <i>Solution Treatment</i> dan <i>Aging</i> Terhadap Struktur Mikro.....	21
2.6 Mekanisme <i>Heat Treatment</i> Inconel 718	24
2.6.1 <i>Solution Treatment</i>	26
2.6.2 <i>Quenching</i>	26
2.6.3 <i>Aging</i>	27
BAB III METODE PENELITIAN	28
3.1 Diagram Alir Penelitian	28
3.2 Alat dan Bahan	29
3.2.1 Alat-alat yang digunakan.....	29
3.2.2 Bahan-bahan yang digunakan.....	30
3.3 Prosedur Penelitian	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Hasil Pengamatan Metalografi	40
4.2 Hasil Pengujian Densitas	46
4.3 Hasil Pengujian Tekan.....	49
4.4 Hasil Pengujian Kekerasan.....	54

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA.....	59
LAMPIRAN	
LAMPIRAN A. Contoh Perhitungan	63
LAMPIRAN B. Data Penelitian.....	65
LAMPIRAN C. Gambar Alat dan Bahan.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 <i>Limiting Chemical Composition</i> , %.....	9
Tabel 3.1 Sampel yang Digunakan Untuk Pengujian.....	34
Tabel 4.1 Nilai Densitas Aktual Inconel 718.....	46
Tabel 4.2 Nilai Densitas Relatif Inconel 718	48
Tabel 4.3 Hasil Uji Tekan Inconel 718	51
Tabel 4.4 Hasil Uji <i>Vickers</i> Inconel 718	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Inconel 718 a) Gambar SEM b) Distribusi Ukuran Partikel.....	11
Gambar 2.2 Skema Sistem Kontrol Alat SPS.....	12
Gambar 2.3 Jenis-Jenis Kompaksi.....	15
Gambar 2.4 a) Partikel Awal b) Penyusunan Kembali c) Formasi Leher Terbentuk.....	18
Gambar 2.5 a) Pertumbuhan Leher b) Perpanjangan Batas Butir c) Pertumbuhan Butir Berlanjut.....	18
Gambar 2.6 a) Pertumbuhan leher <i>discontinues pore-phase</i> b) Pertumbuhan butir dan pengurangan porositas c) Pertumbuhan butir.....	19
Gambar 2.7 Nilai Kekerasan <i>Vickers</i> Paduan Inconel 718 Hasil SPS.....	19
Gambar 2.8 Kurva <i>Stress-Strain</i> Paduan Inconel 718 Hasil SPS.....	20
Gambar 2.9 SEM Paduan SPS Inconel 718 (a,b) Sebelum dan (c,d) Setelah <i>Heat Treatment</i>	22
Gambar 2.10 SEM Inconel 718 a) 950°C <i>solution treatment + aging</i> , b) 1000°C <i>solution treatment + aging</i> , c) 1080°C <i>solution treatment + aging</i>	23
Gambar 2.11 Skematik Ilustrasi Proses <i>Heat Treatment</i> Inconel 718	25
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	29
Gambar 3.2 <i>Spark Plasma Sintering</i> (SPS) Fuji SPS-625.....	31
Gambar 3.3 <i>Spark Plasma Sintering Monitor Controlling</i>	32
Gambar 3.4 Hasil Proses SPS Sampel Inconel 718.....	33
Gambar 3.5 <i>Wire Cut</i> Hasil Proses SPS.....	33
Gambar 3.6 Proses <i>Grinding</i> dan <i>Polishing</i>	35
Gambar 3.7 Sampel Inconel 718 Setelah <i>Etching</i>	36
Gambar 3.8 Mikroskop Optik.....	36
Gambar 3.9 Uji Densitas.....	37

Gambar 3.10 <i>Micro Vickers Hardness</i> HM-200.....	38
Gambar 3.11 Alat <i>Universal Testing Machine</i>	39
Gambar 4.1 Hasil OEM Inconel 718 <i>Solution Treatment</i> a)900°C+aging 675°C, b)900°C + aging 725°C, c)900°C + aging 775°C.....	41
Gambar 4.2 Hasil OEM Inconel 718 <i>Solution Treatment</i> a)1000°C+aging 675°C, b)1000°C + aging 725°C, c)1000°C + aging 775°C.....	43
Gambar 4.3 Hasil OEM Inconel 718 <i>Solution Treatment</i> a)1100°C+aging 675°C, b)1100°C + aging 725°C, c)1100°C + aging 775°C.....	45
Gambar 4.4 Hasil Uji Densitas Inconel 718.....	47
Gambar 4.5 Nilai Kuat Tekan Inconel 718 dengan Variasi Temperatur <i>Solution Treatment</i> dan <i>Aging</i>	50
Gambar 4.6 a)Nilai <i>Fracture Stress</i> Inconel 718, b)Nilai <i>Yield Stress</i> Inconel 718.....	52
Gambar 4.7 Hasil Uji Kekerasan Vickers Inconel 718 dengan Variasi Temperatur <i>Solution Treatment</i> dan <i>Aging</i>	55

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri manufaktur yang berkaitan dengan material logam khususnya berbasis ferrous mengalami perkembangan yang sangat pesat. Salah satu aplikasinya adalah pada industri dirgantara. Industri dirgantara memiliki peran penting dalam perkembangan zaman saat ini terutama pada transportasi udara modern, dimana pesawat terbang memungkinkan perjalanan jauh dengan cepat, efisien, dan aman sehingga mempermudah konektivitas global, perdagangan internasional, sekaligus mobilitas dan pertukaran budaya. Selain itu, industri dirgantara memiliki peran penting dalam keamanan serta pertahanan dengan kemampuannya untuk memiliki dan mengoperasikan pesawat tempur, *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV), dan teknologi dirgantara lainnya menjadi faktor penting dalam pertahanan keamanan nasional. Salah satu bagian penting dalam pesawat udara adalah turbin. Turbin berperan menghasilkan daya dorong yang dibutuhkan untuk menjaga kestabilan pesawat udara selama melakukan perjalanan. Dalam pengoperasiannya, turbin berada di bawah kondisi operasi yang berat dan membutuhkan paduan berkekuatan tinggi dengan ketahanan terhadap temperatur, tekanan, dan kondisi erosi yang tinggi [1]. Oleh karena itu diperlukan bahan baku yang sesuai agar turbin dapat bekerja dengan optimal. Adapun salah satu bahan baku yang umum digunakan untuk turbin ialah paduan inconel 718.

Inconel 718 merupakan paduan yang dapat diperkeras dengan presipitasi dan mengandung sejumlah besar Fe, Nb, Mo, selain itu terdapat kandungan kecil Al dan Ti. Jenis paduan ini dirancang untuk kekuatan, ketahanan mulur, dan umur lelah yang baik pada temperatur tinggi hingga 700 °C dan memiliki kemampuan las yang baik karena kinetika presipitasi yang relatif lambat. Inconel 718 memiliki nilai kekuatan yang tinggi pada temperatur tinggi sehingga cocok diaplikasikan pada lingkungan dengan kondisi temperatur ekstrem [2]. Selain itu, inconel 718 juga memiliki ketahanan korosi yang baik dan sifat mekanik yang tinggi dengan kemampuan las yang baik sehingga banyak digunakan dalam berbagai macam aplikasi salah satunya turbin pesawat. Berdasarkan jurnal penelitian oleh Marques, dkk (2023), Inconel 718 merupakan salah satu paduan yang paling banyak digunakan di bidang dirgantara dan telah dilaporkan cocok untuk diproses dengan metalurgi serbuk.

Untuk mengolah inconel 718 dapat dilakukan dengan metalurgi serbuk. Dengan menggunakan proses metalurgi serbuk dapat menghasilkan struktur mikro yang homogen pada tingkat mikroskopis dan komposisi kimia dari paduan dapat dikontrol lebih baik. Berdasarkan jurnal penelitian oleh Rusianto (2009), Metalurgi serbuk merupakan proses serbuk logam atau paduan logam diubah dengan ukuran tertentu diubah menjadi produk jadi tanpa menggunakan proses pengecoran. Proses metalurgi serbuk ini memiliki keuntungan dapat mengurangi biaya pengolahan, menggunakan energi yang relatif kecil, dan hasil akhir dapat disesuaikan dengan ukuran yang diinginkan [3]. Permasalahan yang ditemukan ketika menggunakan

hasil proses metalurgi serbuk ini adalah mengolah serbuk logam tersebut menjadi paduan yang memiliki nilai tinggi.

Serbuk logam yang hanya dipadatkan melalui proses *pressing* atau *compacting* umumnya masih memiliki ikatan antar butir yang lemah dan porositas yang tinggi sehingga menyebabkan material memiliki kekuatan mekanik yang rendah. Dalam proses metalurgi serbuk, *sintering* perlu dilakukan untuk meningkatkan kekuatan mekanik dengan memfasilitasi penyatuan butiran serbuk melalui difusi pada temperatur tinggi, sehingga membentuk ikatan yang lebih kuat antar partikel. Berdasarkan jurnal penelitian oleh Gendre M, dkk (2010), Teknologi *spark plasma sintering* (SPS) merupakan teknologi yang hemat energi dan ramah lingkungan untuk preparasi material dan pemrosesannya. Hal tersebut menunjukkan keuntungan yang cukup besar dalam pembuatan nano material, komposit, dan aplikasi lainnya. Dengan menggunakan SPS dapat mewujudkan kepadatan tinggi pada temperatur rendah dan waktu yang singkat dengan laju pendinginan yang dapat dikontrol. Selain metode *sintering*, karakteristik dari serbuk seperti ukuran partikel, kemurnian, dan rasio rongga dapat mempengaruhi sifat sampel yang akan dibuat [3]. Menurut A.H.R. Sirkin (1999) kualitas serbuk awal yang digunakan juga dapat mempengaruhi sifat sampel yang akan dibuat. Serbuk yang dihasilkan melalui *plasma rotation electrode process* (PREP) menjadi prioritas karena dapat menjamin produk serbuk memiliki nilai kemurnian yang tinggi, distribusi ukuran partikel, dan kontaminasi oksida yang lebih sedikit [5].

Setelah dilakukan *spark plasma sintering*, Inconel 718 memiliki sifat mekanik yang kurang optimal terutama pada temperatur tinggi. Dalam kondisi ini,

paduan mungkin tidak cukup kuat untuk menahan beban mekanik yang tinggi atau kondisi operasi yang ekstrem. Semua fasa paduan Inconel 718 dapat dikontrol dengan pemilihan siklus *heat treatment* yang tepat yang dapat dialami paduan dan fraksi volume serta distribusinya menentukan struktur mikro dan meningkatkan sifat mekaniknya. Oleh karena itu, *heat treatment* pada paduan Inconel 718 hasil fabrikasi SPS perlu dioptimalkan dengan tujuan untuk menyesuaikan struktur mikro, meningkatkan sifat mekanik yang diperlukan, dan melarutkan fasa-fasa presipitat yang tidak diinginkan, seperti fasa delta (δ) dan karbida yang mungkin terbentuk selama proses SPS. Fasa delta (δ) bertindak sebagai penghambat pertumbuhan butir selama proses pemanasan pada temperatur tinggi. Fasa delta (δ) yang berada di batas butir membantu mempertahankan ukuran butir yang lebih kecil yang berdampak positif pada kekuatan material. Namun, jika fasa delta (δ) muncul dalam jumlah yang berlebihan, hal tersebut dapat menyebabkan penurunan keuletan (*ductility*) dan ketangguhan material.

Dalam proses *heat treatment* Inconel 718 meliputi *solution treatment* dan *aging*. Kedua proses tersebut dilakukan karena proses tersebut dapat memenuhi kebutuhan penguatan dan kestabilan material paduan berbasis nikel dengan cara yang optimal. *Solution treatment* dilakukan dengan tujuan untuk melarutkan fasa penguat pada batas butir untuk mendapatkan ukuran butir yang diinginkan dan menghilangkan tegangan sisa. Sedangkan, *aging* dilakukan pada temperatur yang lebih rendah untuk memungkinkan terbentuknya presipitat γ' dan γ'' . Presipitat γ' dan γ'' memberikan penguatan signifikan pada Inconel 718 tanpa mengurangi ketangguhannya [6]. Menurut penelitian Kuo (2009) Inconel 718 biasanya

dilakukan *solution treatment* pada temperatur 1010°C - 1095°C diikuti dengan proses *aging* pada temperatur 620°C - 720°C. Dalam penelitian tersebut, material Inconel 718 yang telah dilakukan *solution treatment* dan *aging* terbukti dapat meningkatkan sifat mekanik jika dibandingkan dengan yang tidak diberikan perlakuan panas. Dalam aplikasi industri, proses *solution treatment* dan *aging* yang berbeda memiliki pengaruh yang signifikan terhadap struktur mikro dan sifat mekanik. Sejauh ini, banyak penelitian terdahulu untuk menganalisis variasi endapan dengan proses *heat treatment* yang berbeda pada Inconel 718. Namun, studi sistematis tentang hubungan antara evolusi proses *aging* dengan struktur mikro dan sifat mekanik masih kurang. Untuk mendapatkan proses *heat treatment* yang lebih sesuai untuk inconel 718, metode perlakuan baru diusulkan dalam penelitian ini.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, dengan segala kelebihan dari paduan Inconel 718, terdapat kekurangan yang sangat perlu diperhatikan dalam pengaplikasiannya untuk bahan baku turbin, dimana paduan inconel memiliki tingkat kekerasan yang tinggi tetapi konduktivitas termalnya rendah. Hal tersebut menimbulkan kesulitan saat digunakan untuk proses permesinan dan pembentukan konvensional, khususnya dalam pembuatan komponen yang kompleks. Oleh sebab itu dilakukan penelitian ini untuk mengatasi kekurangan dari paduan inconel 718 dan untuk mengoptimalkan sifat mekanik dan mikrostruktur yang dihasilkan dari paduan inconel 718 dengan memvariasikan temperatur *solution treatment* dan temperatur *aging*. Hasil tersebut memberikan acuan untuk mengoptimalkan proses *heat treatment* pada Inconel 718.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah Penulis susun, rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur *solution treatment* terhadap sifat mekanik dan mikrostruktur inconel 718.
2. Bagaimana pengaruh variasi temperatur *aging* terhadap sifat mekanik dan mikrostruktur inconel 718.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah Penulis susun, tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur *solution treatment* terhadap sifat mekanik dan mikrostruktur inconel 718.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur *aging* terhadap sifat mekanik dan mikrostruktur inconel 718.

1.4 Ruang Lingkup

Pada judul penelitian yang Penulis bawaan yang berjudul “Pengaruh Temperatur *Solution Treatment* dan *Aging* Inconel 718 Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro” ruang lingkup penelitiannya antara lain :

- a. Bahan baku: Penelitian ini menggunakan bahan utama berupa serbuk inconel 718 sebanyak 51,866 gram.

b. Variabel: Penelitian ini menggunakan 2 variabel bebas dan 2 variabel terikat antara lain:

Variabel bebas:

1. Temperatur *Solution Treatment*: Variabel bebas pertama adalah temperatur yang digunakan dalam proses *solution treatment*. Penelitian ini akan membandingkan beberapa temperatur *solution treatment* yang berbeda untuk melihat hasilnya akan memengaruhi sifat mekanik dan struktur mikronya.
2. Temperatur *Aging*: Variabel bebas kedua adalah temperatur yang akan diatur dalam proses *aging*. Penelitian ini akan menguji beberapa tingkat temperatur yang berbeda untuk melihat bagaimana perubahan temperatur ini memengaruhi sifat mekanik dan struktur mikronya.

Variabel terikat:

1. Sifat Mekanik: Variabel terikat pertama adalah sifat mekanik dari yang akan diukur melalui beberapa pengujian, yaitu:
 - Uji Tekan: Untuk menilai kekuatan tekan hasil dari proses *solution treatment* dan *aging* inconel 718.
 - Uji Kekerasan: Untuk mengukur kekerasan permukaan hasil dari *solution treatment* dan *aging* inconel 718.
 - Uji Densitas: Untuk mengukur karakteristik fisik dan struktural dari bahan serbuk logam.
2. Struktur Mikro: Variabel terikat kedua adalah struktur hasil *sintering* inconel 718 yang akan dianalisis melalui pengujian metalografi.

c. Lokasi penelitian: Penelitian ini akan dilakukan di BRIN Serpong, Gedung 225, Kawasan Puspiptek Setu Serpong, Muncul, Kec. Setu, Kota Tangerang Selatan, Banten, 15314.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi terdiri dari lima bab. Bab I adalah Pendahuluan yang menjelaskan tentang latar belakang studi *solution treatment* dan *aging* Inconel 718 yang diproses menggunakan *spark plasma sintering*, identifikasi masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup, dan sistematika penulisan. Bab II menjelaskan tinjauan pustaka tentang metalurgi serbuk Inconel 718, pengaruh temperatur *solution treatment* dan *aging* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro, dan mekanisme *heat treatment* Inconel 718. Bab III menjelaskan metodologi penelitian meliputi diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan, dan prosedur yang dilakukan pada penelitian. Pada bab IV menjelaskan hasil dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan kemudian ditarik kesimpulan dan saran pada bab V. Pada skripsi ini juga terdapat daftar pustaka yang berisi referensi-referensi dan lampiran yang berisi contoh perhitungan, data hasil penelitian, dan alat serta bahan yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Marques, A., Cunha, Â., Bartolomeu, F., Silva, F. S., & Carvalho, Ó, “Inconel 718 produced by hot pressing: optimization of temperature and pressure conditions. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*,” 2023.
- [2] Johari, N., Ibrahim, R., Ahmad, M. A., Suleiman Ahmad, M. J., & Talib, A. R. A, “The effect of sintering temperature on physical properties of sintered inconel 718 for potential aerospace industry application,” *Advanced Materials Research*, 879, 139–143, 2014.
- [3] Rusianto , T., “Hot Pressing Metalurgi Serbuk Aluminium Dengan Variasi Suhu Pemanasan,” *Jurnal Teknologi*, 2(1), pp. 89- 95, 2009.
- [4] M. Gendre, A. Maître, G. Trolliard, “A study of the densification mechanisms during spark plasma sintering of zirconium (oxy-)carbide powders,” *Acta Mater.* 58 2598–2609, 2010.
- [5] A.H.R. Sirkin, E.E. Vicente, “Segregation in Stellite Powders Produced by the Plasma Rotating Electrode Process,” *Mater. Sci. Eng., A* 262 64-69, 1999.
- [6] Kuo, C. M., Yang, Y. T., Bor, H. Y., Wei, C. N., & Tai, C. C, “Aging effects on the microstructure and creep behavior of Inconel 718 superalloy,” *Materials Science and Engineering: A*, 510–511(C), 289–294, 2009, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2008.04.097>
- [7] Hosseini, E., & Popovich, V. A, “A review of mechanical properties of additively manufactured Inconel 718,” In *Additive Manufacturing* (Vol. 30). Elsevier B.V, 2009.
- [8] Anbarasan, N., Gupta, B. K., Prakash, S., Muthukumar, P., Oyyaravelu, R., Kumar, R. J. F., & Jerome, S, “Effect of Heat Treatment on the Microstructure

and Mechanical Properties of Inconel 718,” *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 7716–7724, 2018.

- [9] M. Khoshghadam-Pireyousefan, A. Mohammadzadeh, A. Heidarzadeh, and D. Brabazon, ”Fundamentals of Spark Plasma Sintering for Metallic, Ceramic, and Polymer Matrix Composites Production,” no. April 2020, Elsevier Ltd.
- [10] Subrahmanyam, R. V. S., Koona, R., & Pujari, S. R., “EDMED Inconel 718 using powder metallurgy (P/M) sintered electrode made with nano and micron sized powders,” *Engineering Review*, 40(3), 52–64, 2020.
- [11] Jiang, R., Song, Y. D., & Reed, P. A., “Fatigue crack growth mechanisms in powder metallurgy Ni-based superalloys—A review,” *International Journal of Fatigue*, 141, 2020.
- [12] Huang, W., Yang, J., Yang, H., Jing, G., Wang, Z., & Zeng, X., “Heat treatment of Inconel 718 produced by selective laser melting: Microstructure and mechanical properties,” *Materials Science and Engineering: A*, 750, 98–107, 2019.
- [13] Suwanda, T., “Optimilasi Tekanan Kompaksi, Temperatur dan Waktu Sintering terhadap Kekerasan dan Berat Jenis Aluminium pada Proses Pencetakan dengan Metalurgi Serbuk,” Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik UMY, 2006.
- [14] Levasseur, D., & Brochu, M., “Supersolidus Liquid Phase Sintering Modeling of Inconel 718 Superalloy,” *Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science*, 47(2), 869–876, 2016.
- [15] Yan, S., Wang, Y., Wang, Q., Zhang, C., Chen, D., & Cui, G., “Enhancing mechanical properties of the spark plasma sintered inconel 718 alloy by controlling the nano-scale precipitations,” *Materials*, 12(20), 2019.

- [16] Yan, S., Wang, Q., Chen, X., Zhang, C., & Cui, G, “Fabrication of highly compact Inconel 718 alloy by spark plasma sintering and solution treatment followed by aging,” *Vacuum*, 163, 194–203, 2019.

- [17] Jinoop, A. N et al, “Mechanical and microstructural characterization of Inconel 718 alloy fabricated using direct metal laser sintering,” *Journal of Materials Processing Technology*, 2019.

- [18] Jambor, M., Bokuvka, O., & Novy, F, “*Transformasi Fasa pada Basis Nikel Superalloy Inconel 718 selama Pembebanan Siklik pada Suhu Tinggi*,” 2017.

- [19] Li, X., Shi, J. J., Cao, G. H., Russell, A. M., Zhou, Z. J., Li, C. P., & Chen, G. F, “Improved plasticity of Inconel 718 superalloy fabricated by selective laser melting through a novel heat treatment process,” *Materials and Design*, 180, 2019.

- [20] Thomas, A., El-Wahabi, M., Cabrera, J. M., & Prado, J. M, “High temperature deformation of Inconel 718,” *Journal of Materials Processing Technology*, 177(1–3), 469–472, 2006.

- [21] Marques, A. C., Cunha, Â., Silva, F., Bartolomeu, F., & Carvalho, Ó, “*Inuence of the temperature and pressure on densication, physical and mechanical properties of Inconel 718 produced by Hot Pressing*,” 2022.

- [22] Slama, C., & Cizeron, G, “Aging of the Inconel 718 alloy between 500 and $750 \pm \text{C}$,” 2015.

- [23] An, X. L., Zhou, L., Zhang, B., Jj, Chu, C. L., Han, L. Y., Gy, H., & Chu, P. K, “Inconel 718 treated with two-stage solution and aging processes: Microstructure evolution and enhanced properties,” *Materials Research Express*, 6(7), 2019.

- [24] F. J. Humphreys and M. Hatherly; ‘Recrystallization and related annealing phenomena,’ Elsevier. 1995.

- [25] George Dieter; Mechanical Metallurgy, McGraw Hill. 1986.
- [26] Azadian, S.; Wei, L.-Y.; Warren, R, “Delta phase precipitation in Inconel 718. Mater. Charact,” 53, 7–16, 2004.
- [27] Nunes, R.M.; Pereira, D.; Clarke, T.; Hirsch, T.K, “Delta Phase Characterization in Inconel 718 Alloys Through X-ray Diffraction,” ISIJ Int. 55, 2450–2454, 2015.
- [28] Jiang, J., Gu, H., Li, B., Zhang, J., & Gu, Y, “Effect of Solution Treatment on Mechanical Properties of Inconel 718 Alloy Formed by SLM” Journal of Physics: Conference Series, 2679(1), 2024.
- [29] Zhang, H.; Li, C.; Liu, Y.; Guo, Q.; Huang, Y.; Li, H.; Yu, J, “Effect of hot deformation on γ ” and δ phase precipitation of Inconel 718 alloy during deformation&isothermal treatment,” J. Alloys Compd. 716, 65–72, 2017.