

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 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. Selain itu, inconel 718 juga memiliki tahan korosi yang baik dan sifat mekanik yang tinggi dengan kemampuan las yang baik sehingga banyak digunakan dalam turbin gas, komponen mesin roket berbahan bakar cair, dan tangki kriogenik. Namun, kekerasan yang tinggi dan konduktivitas termal yang rendah dari paduan tersebut menimbulkan kesulitan saat menggunakan proses pemesinan dan pembentukan konvensional, khususnya untuk pembuatan komponen yang kompleks [7]. Batasan komposisi dari paduan ini dapat dilihat pada Tabel 2.1.

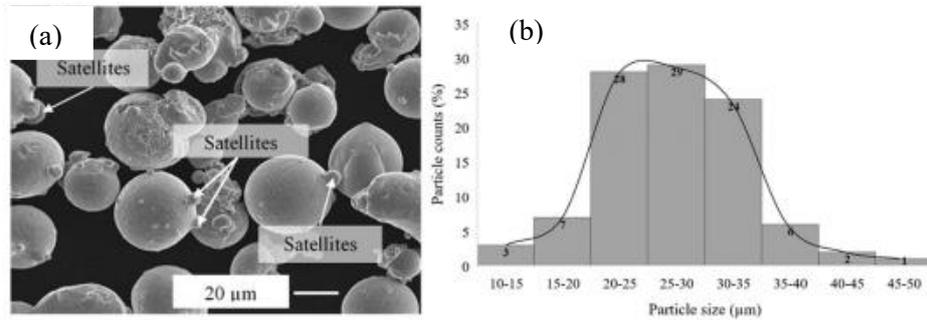
Tabel 2.1 *Limiting Chemical Composition, % [7]*

<i>Chemical Composition</i>	<i>%</i>
Nickel (plus cobalt)	Balance*
Chromium	17.00 – 21.00
Iron	17.00

Tabel 2.1 (Lanjutan)

<i>Chemical Composition</i>	<i>%</i>
Niobium (plus tantalum)	4.75 – 5.50
Molybdenum	2.80 – 3.30
Titanium	0.65 – 1.15
Aluminium	0.20 – 0.80
Cobalt	1.00 max
Carbon	0.08 max
Manganese	0.35 max
Silicon	0.35 max
Phosphorus	0.015 max
Sulfur	0.015 max
Boron	0.006 max
Copper	0.30 max

Inconel 718 merupakan paduan Ni-Fe-Cr dengan 50-55% Ni dan 21% Cr dapat menghindari oksidasi pada temperatur tinggi. Mo dengan 2,8-3,3% bermanfaat untuk menghindari korosi pitting. Unsur lain seperti titanium, cobalt, aluminium, dan besi juga terdapat dalam paduan ini. Selain itu, kelarutan chromium, tungsten, molibdenum, dan cobalt pada matriks austenitik dapat meningkatkan kekuatan mekanik. Morfologi serbuk inconel 718 dianalisis dengan *scanning electron microscope*. Berdasarkan Gambar 2.1 (a) serbuk yang digunakan memiliki ukuran partikel rata-rata adalah 20 μm , namun berdasarkan Gambar 2.1 (b) sebagian besar ukuran partikelnya berkisar antara 20 μm dan 35 μm [8].

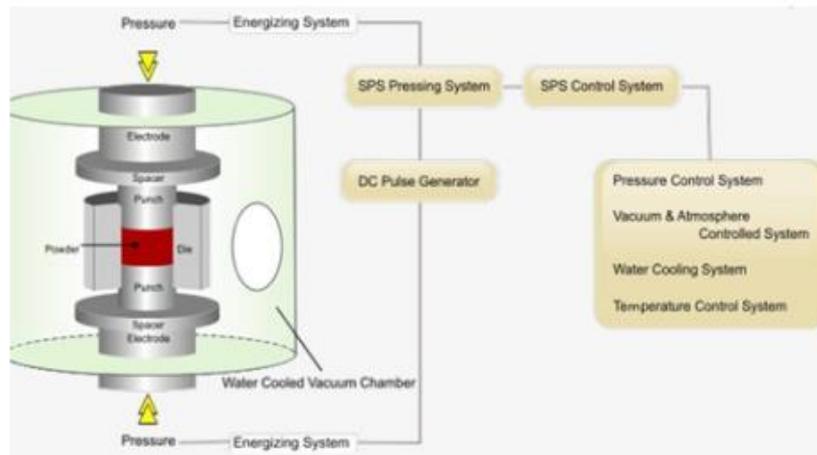


Gambar 2.1 Inconel 718 a) Gambar SEM b) Distribusi Ukuran Partikel [8]

2.2 *Spark Plasma Sintering*

Sintering merupakan proses pembuatan dan pemadatan material berbentuk padat dalam keadaan panas pada temperatur jauh dibawah *melting point*-nya dengan menggunakan tekanan ataupun tidak. Salah satu metode dalam proses *sintering* adalah SPS (*spark plasma sintering*) yang merupakan sebuah teknologi maju yang dapat digunakan untuk menghasilkan *bulk* (padatan) yang dimana serbuk penyusunnya memiliki densitas yang cukup tinggi. SPS (*spark plasma sintering*) termasuk ke dalam teknik *solid compaction* dan metode *pressured sintering*. *Pressing sintering* merupakan metode *sintering* yang memanfaatkan tekanan dalam prosesnya. SPS (*spark plasma sintering*) memiliki sensor perubahan ketebalan yang dapat dikontrol selama proses berlangsung. Dengan dapat mengontrol laju pemanasan (*heating rate*) maka dapat menghasilkan proses *sintering* dalam waktu yang cukup singkat [8]. Hasil dari proses SPS menghasilkan sampel yang memiliki butir kristal yang cukup halus sehingga banyak diaplikasikan untuk mensintesis beberapa bulk material. Dengan menggunakan *spark plasma sintering*, proses

sintering-nya dapat dikontrol secara signifikan agar mendapatkan sifat mekanik yang sempurna. Skematik dari alat SPS dapat dilihat dari Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Skema Sistem Kontrol Alat SPS [9]

Secara umum proses SPS (*spark plasma sintering*) dilakukan di dalam *chamber*, di dalam *chamber* tersebut terdapat *graphite punch* dan *graphite dies* yang berfungsi untuk cetakan sampel dan sebagai wadah dari sampel serbuk. *Graphite spacer* digunakan untuk alat bantu *pressure* yang terdapat pada atas dan bawah *graphite die*. *Graphite die* diatur pada posisi di tengah antara atas dan bawah dari *graphite spacer* yang terdapat sebuah elektroda. Elektroda memiliki fungsi untuk memberikan tekanan pada *graphite die* dengan bantuan tegangan DC dari sistem kontrol SPS. Selain itu, sistem kontrol SPS berfungsi untuk mengatur udara vakum di dalam *chamber*, waktu pemanasan, pendinginan alat, temperatur, dan perubahan ketebalan yang dapat dilihat pada monitor komputer yang sudah terhubung dengan alat SPS tersebut [9].

2.3 Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk merupakan teknik pembuatan logam yang dibuat menggunakan partikel yang halus dalam keadaan padat. Proses pembentukan ini meliputi bahan berupa serbuk yang dimasukkan ke dalam cetakan lalu dilakukan proses kompaksi. Setelah proses kompaksi, serbuk akan membentuk *green body* sesuai dengan bentuk cetakan. *Green body* tersebut dilakukan proses *sintering* agar pergerakan atom dalam bahan partikel dapat terjadi dan menghasilkan rongga di dalam bahan yang dapat mempengaruhi berat jenisnya [10]. Keuntungan menggunakan metalurgi serbuk adalah dapat memberikan kontrol komposisi yang lebih teliti, paduan dapat dibentuk dari bahan dengan perbedaan kepadatan dan temperatur leleh yang tinggi, dan penggunaan *mixing* yang tidak dapat difabrikasi menggunakan metode lain. Secara umum semua logam dapat dibentuk menjadi serbuk, namun hanya terdapat beberapa jenis logam yang digunakan dalam pembuatan serbuk logam. Dalam pembentukan serbuk menggunakan metode yang bergantung pada sifat-sifat khusus yang dimiliki dari material logam tersebut. Setiap jenis logam memiliki ciri-ciri kimia dan fisis tertentu sehingga diperlukan metode pembuatan yang berbeda [11].

2.3.1 Mixing

Mixing (pencampuran serbuk) dilakukan dengan cara mencampurkan jenis logam yang berbeda dengan material lain dengan tujuan agar dapat memberikan sifat mekanik dan fisik yang lebih baik. *Lubricant* (pelumas) memungkinkan ditambahkan agar dapat meningkatkan sifat *powders flow*. Selain itu, *binders* juga dapat ditambahkan agar dapat meningkatkan *green*

strength [12]. Proses *mixing* dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu *dry mixing* dan *wet mixing*.

a. *Dry mixing*

Pencampuran kering (*dry mixing*) merupakan metode pencampuran yang dilakukan di udara luar dan tidak memerlukan pelarut untuk melarutkan. Metode ini digunakan apabila menggunakan material yang tidak mudah teroksidasi.

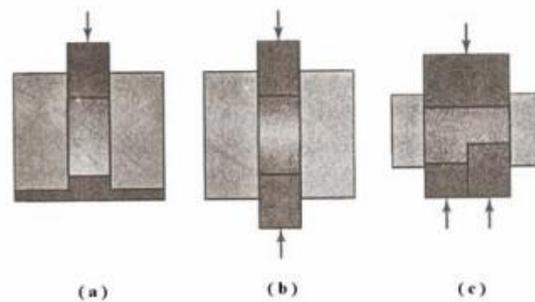
b. *Wet mixing*

Pencampuran basah (*wet mixing*) merupakan metode pencampuran dimana *filler* dan serbuk matrik dicampur terlebih dahulu dengan menggunakan pelarut polar. Pelarut polar diberikan dengan tujuan agar mempermudah proses *mixing* dan untuk melapisi permukaan suatu material agar tidak terjadi kontak langsung dengan udara luar sehingga material dapat tercegah dari terjadinya oksidasi. Metode ini digunakan apabila menggunakan material yang mudah teroksidasi.

2.3.2 Kompaksi

Kompaksi merupakan sebuah proses pembentukan logam dari serbuk dengan mekanisme penekanan setelah serbuk logam dimasukkan ke dalam suatu cetakan (*dies*). Apabila semakin besar tekanan kompaksi maka porositas di antara partikel akan semakin sedikit tetapi nilai porositas tidak mungkin mencapai nol. Secara umum proses kompaksi dapat dilakukan dengan penekanan satu arah dan dua arah. Pada penekanan satu arah penekan atas akan bergerak ke bawah. Sedangkan dengan penekanan dua arah, penekan atas dan

bawah saling menekan dengan arah yang berlawanan secara bersamaan. Macam produk yang dihasilkan dari proses metalurgi serbuk sangat bergantung pada proses kompaksi dalam membentuk serbuk menggunakan kekuatan yang baik [13]. Permukaan dalam cetakan (*dies*) harus halus dengan tujuan agar dapat mengurangi gesekan. Pada Gambar 2.3 ini merupakan beberapa jenis kompaksi yaitu *single punches*, *double punches*, dan *multiple punches*.



Gambar 2.3 Jenis-jenis Kompaksi [13]

Secara umum proses kompaksi terdapat dua macam metode, yaitu *cold compaction* dan *hot compaction*. *Cold compaction* dilakukan apabila menggunakan material yang mudah teroksidasi dan menggunakan temperatur kamar. Sedangkan, *hot compaction* dilakukan apabila menggunakan material yang tidak mudah teroksidasi dan menggunakan di atas temperatur kamar. Kedua macam metode tersebut memiliki cara kerja yang hampir sama, perbedaannya pada *hot compaction* terjadi perlakuan panas yang dilakukan bersamaan dengan proses penekanan *punch*. Proses kompaksi pada serbuk dilakukan dengan tujuan agar serbuk dapat menempel satu sama lain sebelum dilanjutkan ke dalam proses *sintering*. Produk yang dikeluarkan dari proses

kompaksi biasa disebut dengan bahan kompak mentah, bentuk benda tersebut menyerupai produk akhir tetapi nilai kekuataannya masih cukup rendah. Kekuatan akhir bahan akan didapatkan setelah dilakukan proses *sintering*.

2.3.3 *Sintering*

Sintering merupakan proses pemadatan sebuah material serbuk dengan membentuk ikatan batas butir di antara serbuk penyusunnya. Ikatan antar butir dapat terjadi karena pemanasan dengan atau tanpa menggunakan penekanan dan mengatur temperatur *sintering* dibawah temperatur leleh dari partikel penyusunnya. Proses pemanasan ini menyebabkan partikel bersatu dan efektivitas reaksi tegangan permukaan meningkat sehingga kepadatan bertambah. Proses *sintering* merupakan tahapan lanjutan dari pembuatan *green body* pada proses kompaksi dan dapat terjadi dibawah temperatur leleh [14]. Dalam melakukan proses *sintering* terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan sebagai berikut.

a. Ukuran partikel serbuk

Apabila semakin halus serbuk yang digunakan maka akan semakin cepat laju *sintering* dan level impuritas juga semakin baik.

b. Temperatur *sintering*

Apabila menggunakan temperatur *sintering* yang tinggi maka akan menyebabkan pertumbuhan butir, *shrinkage* yang lebih tinggi, dan biaya yang cukup mahal. Untuk proses *sintering* tidak ada kondisi temperatur yang tepat untuk suatu bahan, namun untuk *sinter* padat dilakukan di bawah temperatur lebur dari bahan tersebut.

c. Waktu *sintering*

Dalam proses *sintering* apabila semakin lama waktu yang digunakan maka diameter serbuk akan semakin besar. Waktu proses *sintering* juga dapat menentukan densifikasi namun temperatur *sintering* lebih mempengaruhi.

d. Tekanan kompaksi

Apabila semakin tinggi tekanan kompaksi yang digunakan maka dislokasi akan semakin banyak sehingga menyebabkan proses *sintering* semakin cepat. Selain itu, produk awal kompaksi apabila ditekan menggunakan tekanan rendah maka akan menyebabkan *shrinkage* yang lebih besar dibandingkan menggunakan tekanan tinggi karena tekanan kompaksi dapat menaikkan densitas produk awal dan mengurangi porositas

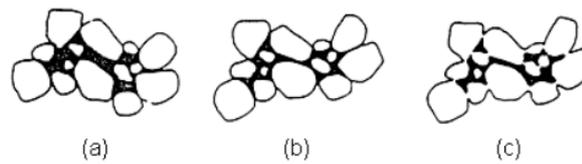
e. *Green density*

Densitas yang meningkat akan menyebabkan porositas yang lebih kecil, terjadi penyusutan yang kecil, dan dimensi yang seragam.

Selama proses *sintering* terjadi terdapat proses perpindahan materi atau proses difusi. Proses difusi ini merupakan pergerakan dari atom-atom sepanjang bahan dan permukaan sehingga setelah proses *sintering* terjadi penyusutan, pengurangan pori-pori, dan pembentukan fasa baru. Dalam proses *sintering* terdapat beberapa tahapan yang terjadi, secara umum tahapan tersebut mengacu pada perubahan fisik selama proses pembentukan ikatan antar partikel berlangsung [14]. Berikut ini merupakan tahapan-tahapan *sinter* yang terjadi.

a. *Initial Stage*

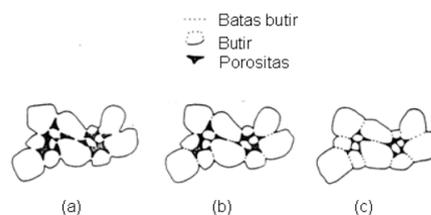
Pada tahapan ini ditandai dengan adanya penyusunan formasi leher kembali yang meliputi penyusunan partikel dan formasi leher awal antar partikel yang dapat dilihat dari Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 a) Partikel awal b) Penyusunan kembali c) Formasi leher terbentuk [14]

b. *Intermediate Stage*

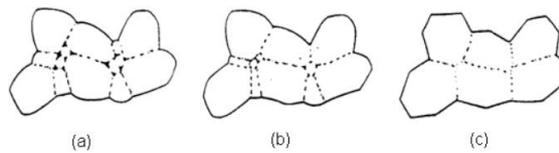
Pada tahapan ini pertumbuhan leher terus berlanjut yang berbarengan dengan pertumbuhan pori dan pertumbuhan butir. Perubahan fisik yang terjadi pada tahapan ini dapat dilihat pada Gambar 2.5 dengan adanya pusat partikel yang bergerak semakin dekat secara bersamaan, batas butir mulai berpindah dan menyebabkan butir tumbuh, porositas menurun, pembentukan saluran yang berhubungan dan berakhir saat porositas terisolasi. Pada tahapan ini terjadi penyusutan secara maksimal.



Gambar 2.5 a) Pertumbuhan leher b) Perpanjangan batas butir c) Pertumbuhan butir berlanjut [14]

c. *Final Stage*

Tahapan ini ditandai dengan munculnya batas butir dan hilangnya struktur pori. Selama tahapan terakhir ini terjadi perubahan fisik meliputi terjadinya pertumbuhan butir terjadi dan porositas mengalami pergerakan terakhir yang dapat dilihat berdasarkan Gambar 2.6 berikut.

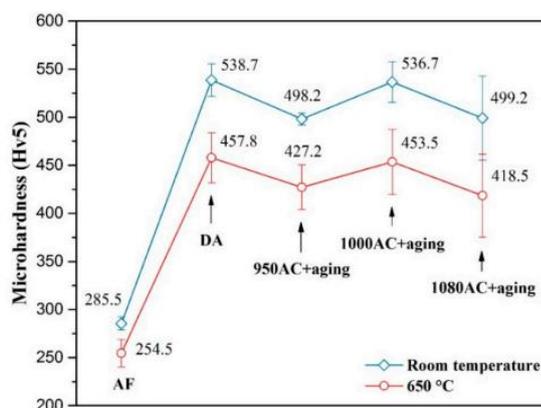


Gambar 2.6 a) Pertumbuhan leher dengan *discontinues pore-phase* b)

Pertumbuhan butir dan pengurangan porositas c) Pertumbuhan butir [14]

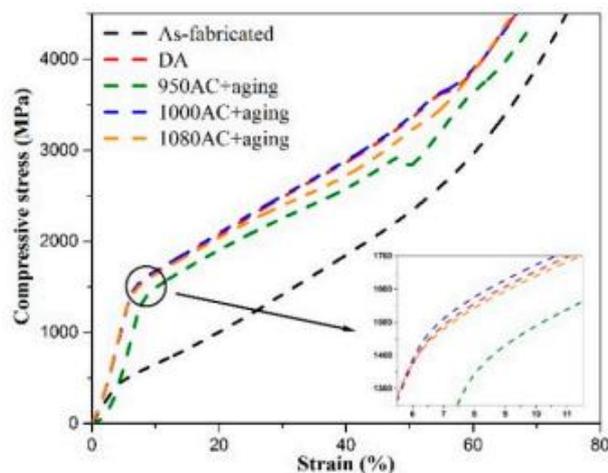
2.4 Pengaruh Temperatur *Solution Treatment* dan *Aging* Terhadap Sifat Mekanik

Dalam penelitian Yan, 2019 dilakukan serangkaian proses *heat treatment* yang dilakukan pada paduan Inconel 718 yang difabrikasi menggunakan *spark plasma sintering* (SPS). Untuk mengetahui pengaruh temperatur *solution treatment* dan *aging* terhadap sifat mekanik maka dilakukan uji kekerasan *vickers* dan uji tekan.



Gambar 2.7 Nilai Kekerasan *Vickers* Paduan Inconel 718 Hasil SPS [15]

Untuk mengevaluasi ketahanan temperatur tinggi dari paduan Inconel 718 hasil SPS, uji kekerasan *vickers* dilakukan pada temperatur kamar dan *aging* pada temperatur 650°C. Gambar 2.7 menunjukkan nilai rata-rata kekerasan dan kesalahan diperoleh dengan minimal 10 lekukan pada setiap sampel. Dibandingkan dengan sampel *solution treatment* 950°C + *aging*, kekerasan sampel *soluton treatment* 1000°C + *aging* meningkat karena adanya kandungan endapan γ''/γ' yang lebih besar. Kekerasan sampel *solution treatment* 1080°C + *aging* menunjukkan penurunan yang nyata terutama disebabkan oleh pengerasan butiran selama perlakuan larutan. Tren kekerasan pada *aging* 650°C konsisten dengan yang ada pada *room temperature*. Seperti yang disajikan pada Gambar 2.7, kekerasan mikro menurun untuk semua sampel saat diuji pada *aging* 650°C. Pengurangan kekerasan tersebut disebabkan oleh efek pelunakan termal yang biasa diamati pada paduan. Namun, pengurangan kekerasan berada dalam nilai yang terbatas menunjukkan bahwa paduan Inconel 718 hasil SPS dapat mempertahankan sifat mekanik yang baik pada suhu 650°C.



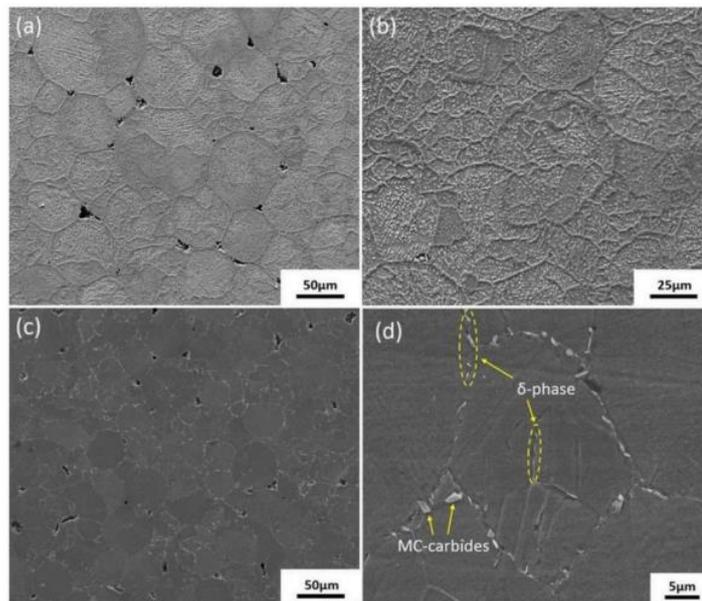
Gambar 2.8 Kurva *Stress-Strain* Paduan Inconel 718 Hasil SPS [15]

Berdasarkan Gambar 2.8 kekuatan luluh sampel yang tidak dilakukan *heat treatment* jauh lebih rendah dibandingkan sampel yang diberi *heat treatment*. Perlu dicatat bahwa tidak ada kerusakan patah yang terlihat setelah uji tekan paduan SPS Inconel 718. Sampel dengan temperatur *solution treatment* 1000°C + *aging* menunjukkan kekuatan luluh tertinggi yaitu sebesar 1463 MPa. Namun, pada sampel dengan temperatur *solution treatment* 950°C + *aging* menunjukkan sifat tekan minimum pada sampel yang dilakukan *heat treatment*. Dibandingkan dengan sampel *solution treatment* 950°C + *aging*, nilai tekan luluh pada sampel *solution treatment* 1000 + *aging* meningkat sebesar 9%. Nilai kekuatan tekan sampel pada sampel *solution treatment* 1080°C + *aging* lebih rendah dibandingkan dengan sampel *solution treatment* 1000°C yang dapat dianggap berasal dari ukuran butir sampel penuaan 1080°C + *aging* yang lebih besar [15].

2.5 Pengaruh Temperatur *Solution Treatment* dan *Aging* Terhadap Struktur Mikro

Inconel 718 merupakan superalloy berbasis Ni-Fe yang banyak diaplikasikan pada lingkungan yang memiliki temperatur tinggi, salah satu contohnya yaitu pada mesin turbin. Baik larutan padat ataupun penguatan presipitasi merupakan langkah yang dapat dilakukan untuk memperkuat mekanisme. Serbuk inconel 718 dengan ukuran partikel rata-rata sebesar 30 μm digunakan sebagai *raw material*. Kemudian dilakukan proses *sintering* menggunakan metode *spark plasma sintering* (SPS) dengan temperatur 1200°C, *heating rate* sebesar 100°C / menit dan di-*holding* selama 10 menit. Pada waktu yang bersamaan, diterapkan gaya uniaksial hingga 16

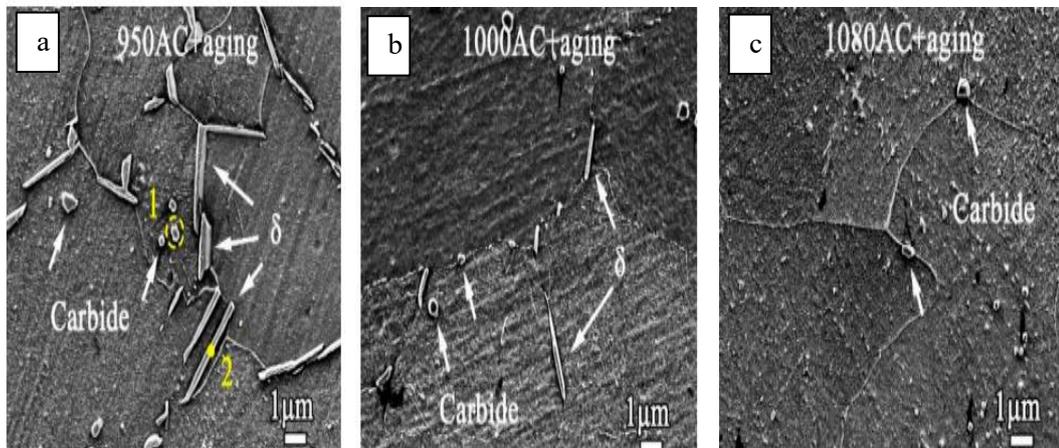
kN pada *graphite die* pada awal *sintering* dan menurun secara bertahap pada proses pendinginan. Setelah sampel dilakukan proses *sintering*, sampel dilakukan *solution treatment* pada temperatur 950°C dengan *holding time* selama 1 jam dilanjutkan dengan proses *double aging* pada temperatur 720°C dan 620°C masing-masing *holding time* selama 8 jam.



Gambar 2.9 SEM Paduan SPS Inconel 718 (a,b) Sebelum dan (c,d) Setelah *Heat Treatment* [16]

Mikrograf SEM dari paduan SPS Inconel 718 Gambar 2.9 (a dan b) menunjukkan gambar struktur mikro padat dan butiran halus. Dapat dilihat bentuk beberapa partikel serbuk lebih kecil berubah pada *neck* untuk mendapatkan densitas yang tinggi. Karena tingginya tekanan pada titik kontak dan intensifikasi arus listrik secara lokal kepadatan pada *neck*, permukaan partikel menjadi rata dan pepadatan selesai dalam beberapa menit. Gambar 2.9 (c dan d) menunjukkan struktur mikro

dari paduan Inconel 718 yang dilakukan *solution treatment* dan *aging*. Setelah *double aging*, fasa δ acicular dan MC-karbida kotak diendapkan di sekitar batas butir yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 (d). Sebagai perbandingan, struktur mikro sampel setelah *solution treatment* dan *aging* menunjukkan pori-pori lebih sedikit dan lebih kecil dibandingkan yang tidak dilakukan *heat treatment*. Dapat juga dilihat bahwa butirannya lebih halus terbentuk setelah dilakukan *heat treatment*. Ukuran butir rata-rata sampel sebelum dan sesudah perlakuan panas diukur menjadi $12\ \mu\text{m}$ dan $9\ \mu\text{m}$, masing-masing dengan sebaran ukuran butir berkisar antara $9,2$ - $20,2\ \mu\text{m}$ dan 6 - $13,7\ \mu\text{m}$. Baik γ' maupun γ'' memiliki endapan tidak diamati pada gambar SEM yang dapat dianggap berasal dari ukuran partikel skala kecilnya [16].



Gambar 2.10 SEM Paduan Inconel 718 a) 950°C *solution treatment* + *aging*, b) 1000°C *solution treatment* + *aging*, c) 1080°C *solution treatment* + *aging* [15]

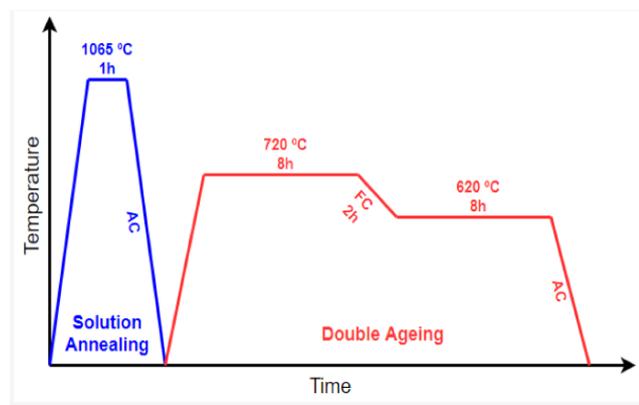
Gambar 2.10 merupakan hasil penelitian Yan (2019) menyajikan gambar SEM dengan perbesaran tinggi dari Paduan SPS Inconel 718. Pada Gambar 2.10 a)

sampel 950°C *solution treatment + aging* terdapat beberapa fasa kecil diendapkan di sepanjang batas butir. Untuk sampel 950°C *solution treatment + aging* terdapat kandungan fasa δ besar dan ukurannya lebih besar jika dibandingkan sampel 1000°C *solution treatment + aging*. Hal tersebut dikarenakan laju presipitasi pada fasa δ paling tinggi yaitu sekitar 900°C. Pada Gambar 2.10 b) sampel 1000°C *solution treatment + aging*, jumlah dan panjang fasa δ berkurang. Fasa γ'' pada sampel 1000°C *solution treatment + aging* jelas lebih padat jika dibandingkan dengan fasa pada sampel penuaan 950°C *solution treatment + aging* yang secara langsung dapat meningkatkan kekerasan sampel dan kekuatan tekan. Pada Gambar 2.10 c) sampel 1080°C *solution treatment + aging* tidak terdapat fasa δ berbentuk jarum yang dapat ditemukan karena 1080°C melebihi solvus fasa δ (yaitu sekitar 1050°C). Akibatnya, pertumbuhan butir tidak dapat dibatasi oleh fasa batas butir δ . [15].

2.6 Mekanisme *Heat Treatment* Inconel 718

Perlakuan panas (*heat treatment*) merupakan proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendaratkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal tersebut maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat mempengaruhi [17]. Secara umum, perlakuan panas (*heat treatment*) dilakukan agar dapat memodifikasi struktur mikro material sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik yang salah satunya adalah kekerasan. Pada proses akhir *heat treatment*, struktur mikro yang didapatkan akan mempengaruhi sifat yang didapatkan. Sedangkan, terbentuknya

struktur mikro ini selain dipengaruhi oleh komposisi kimia dari material juga dipengaruhi oleh kondisi awal material tersebut dan proses *heat treatment* yang diterima. Hal tersebut dapat tercapai apabila memperhatikan parameter yang mempengaruhinya [18]. Parameter yang dapat mempengaruhinya dapat berupa temperatur pemanasan, lama waktu pemanasan, dan media pendingin yang digunakan.



Gambar 2.11 Skematik Ilustrasi Proses *Heat Treatment* Inconel 718 [19]

Heat treatment biasanya dilakukan dengan tungku argon atau vakum dengan skematik seperti pada Gambar 2.11 dimana titik embun rendah dan seringkali dengan zona panas yang seluruhnya terbuat dari logam untuk menghindari perubahan warna. *Solution annealing* pada temperatur 925°C - 1100°C dengan *aging treatment* yang sesuai dianggap sebagai perlakuan panas yang optimal untuk inconel 718 dimana kombinasi umur pecah, umur pecah takik, dan keuletan pecah menjadi perhatian terbesar [19]. Kekuatan tarik dan luluh suhu ruangan tertinggi juga dikaitkan dengan perlakuan ini. Selain itu, karena butiran halus yang dikembangkan menghasilkan kekuatan leleh yang paling tinggi.

2.6.1 *Solution Treatment*

Solution treatment merupakan proses pemanasan yang dilakukan dengan tujuan agar dapat melarutkan satu atau lebih unsur paduan dalam matriks dan membentuk satu fasa tanpa terjadinya peleburan. Proses tersebut mengakibatkan pemisahan endapan paduan yang ada sebelumnya sehingga larut dan menyebabkan paduan yang homogen. Dengan menggunakan *solution treatment*, paduan logam dipanaskan dengan temperatur yang cukup tinggi dibawah temperatur leburnya sesuai jenis material dan paduannya lalu dilakukan pencelupan cepat [20]. Setelah dilakukan pencelupan, material akan mengalami *aging* alami apabila didiamkan pada temperatur ruang dan *aging* buatan apabila dipicu dengan proses *heat treatment* tambahan. Dalam proses ini fasa kedua berpresipitasi.

2.6.2 *Quenching*

Quenching dilakukan dengan tujuan agar mencegah terjadinya pemisahan fasa kedua yang terjadi yang disebabkan dari proses *solution treatment*. *Quenching* memiliki prinsip kerja dengan cara mendinginkan logam yang telah dipanaskan dalam *furnace* ke dalam media pendingin. Proses pendinginan dilakukan secara cepat dari temperatur yang panas ke temperatur yang lebih rendah, secara umum mendekati temperatur ruang. Hal tersebut dilakukan dengan tujuan agar dapat mempertahankan atom yang larut dalam *solid solution* dan mempertahankan kekosongan atom sebagai tempat difusi atom-atom membentuk klaster atom saat *aging*. Apabila proses *quenching* tidak dilakukan secara cepat maka akan menyebabkan terbentuknya fasa lain

intermetalik dan *vacancies* akan terisi dengan atom yang lain dan proses difusi akan menjadi sulit [21].

2.6.3 *Aging*

Setelah dilakukan *solution treatment* dan *quenching* maka dilanjutkan dengan proses *aging*. *Aging* (penuaan) merupakan proses penuaan dengan cara memanaskan kembali hingga temperatur tertentu kemudian ditahan selama beberapa saat dan dilanjutkan pendinginan secara lambat dengan temperatur ruang. Secara umum, *aging* dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu penuaan alami (*natural aging*) dan penuaan buatan (*artificial aging*). *Natural aging* merupakan sebuah proses penuaan alami menggunakan temperatur ruang dan waktu penuaan dilakukan minimal 48 hari. Sedangkan, *artificial aging* merupakan metode yang dilakukan untuk mempercepat laju pertumbuhan presipitat dan mengakibatkan sifat mekanik aluminium dapat disesuaikan karena adanya pertumbuhan presipitat selama proses *aging*. Sifat mekanik suatu material yang dilakukan proses *artificial aging* sangat bergantung kepada kombinasi temperatur dan lama proses *heat treatment* [22].