

Analisis Kekuatan Tarik dan Metalografi Sambungan Spot Welding pada Material AISI 321

Handi^{1,*}, Permana Andi Paristiawan², dan Neko Junia³

^{1,2}Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Bung Karno, Jakarta, Indonesia

³PT Uqba Lifestyle Indonesia, Jakarta, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 18 April 2026

Direvisi: 31 Mei 2026

Diterima: 2 Agustus 2026

Kata kunci:

AISI 321

Kekuatan tarik

Metalografi

Pengelasan Titik

Struktur Mikro

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan tarik dan karakteristik metalografi pada sambungan spot welding menggunakan material AISI 321. Proses penyambungan dilakukan dengan metode resistance spot welding (RSW) pada konfigurasi sambungan tumpang (lap joint) dengan parameter pengelasan yang dijaga konstan. Spesimen hasil pengelasan kemudian diuji menggunakan uji tarik untuk menentukan beban maksimum serta jenis kegagalan yang terjadi. Selain itu, dilakukan pengujian metalografi untuk mengamati perubahan struktur mikro pada daerah sambungan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik maksimum yang diperoleh adalah sebesar 1.483 N/mm², dengan jenis kegagalan yang terjadi berupa interfacial failure. Analisis metalografi mengungkapkan adanya tiga zona utama, yaitu logam induk (base metal), daerah terpengaruh panas (Heat Affected Zone/HAZ), dan zona lebur (fusion zone). Struktur mikro pada zona nugget menunjukkan karakteristik yang lebih halus akibat proses pendinginan cepat, sedangkan pada daerah HAZ terjadi pembesaran butir akibat pengaruh siklus termal selama pengelasan. Hubungan antara hasil uji tarik dan pengamatan metalografi menunjukkan bahwa kualitas sambungan sangat dipengaruhi oleh ukuran dan karakteristik nugget serta perubahan struktur mikro pada daerah HAZ. Dengan demikian, parameter proses spot welding berperan penting dalam menentukan performa mekanik sambungan.

Keywords:

AISI 321

Metallography

Microstructure

spot welding

tensile strength

This study aims to analyze the tensile strength and metallographic characteristics of spot welded joints using AISI 321 material. The joining process was carried out using the resistance spot welding (RSW) method with a lap joint configuration under constant welding parameters. The welded specimens were subjected to tensile testing to determine the maximum load and the type of failure. In addition, metallographic examination was conducted to observe the microstructural changes in the welded region. The results show that the maximum tensile strength obtained is 1.483 N/mm², with the failure mode identified as interfacial failure. Metallographic analysis reveals three main zones: base metal, heat affected zone (HAZ), and fusion zone. The microstructure in the nugget area tends to be finer due to rapid cooling, while grain growth is observed in the HAZ as a result of the thermal cycle during welding. The correlation between tensile test results and metallographic observations indicates that the joint quality is strongly influenced by the nugget size and microstructural characteristics, particularly in the HAZ region. Therefore, welding parameters play a crucial role in determining the mechanical performance of spot welded joints.

Penulis Korespondensi:

Handi

Email:

handi@ubk.ac.id

Copyright © 2026 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Perkembangan industri manufaktur menuntut penggunaan material yang memiliki ketahanan mekanik dan stabilitas mikrostruktur yang baik, khususnya pada lingkungan temperatur tinggi. Salah satu material yang banyak digunakan adalah baja tahan karat austenitik tipe AISI 321, yang distabilisasi dengan unsur titanium untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi antar butir serta mempertahankan kekuatan pada temperatur tinggi [1]. Material ini banyak diaplikasikan pada komponen otomotif, *aerospace*, dan peralatan industri yang memerlukan ketahanan terhadap oksidasi dan deformasi termal.

Dalam proses fabrikasi, penyambungan material menjadi aspek krusial yang mempengaruhi performa struktur secara keseluruhan. Salah satu metode penyambungan yang digunakan adalah *spot welding*, khususnya *resistance spot welding* (RSW), karena efisiensinya dalam produksi massal, waktu proses yang singkat, serta kemudahan dalam otomasi [2]. Proses ini bekerja dengan memanfaatkan hambatan listrik untuk menghasilkan panas pada area kontak, sehingga terjadi peleburan lokal dan pembentukan *nugget* las.

Meskipun memiliki banyak keunggulan, kualitas sambungan *spot welding* sangat dipengaruhi oleh parameter proses dan sifat material yang dilas. Pada baja tahan karat austenitik seperti AISI 321, distribusi panas selama pengelasan dapat menyebabkan perubahan mikrostruktur yang berpotensi mempengaruhi sifat mekanik sambungan [3]. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi yang komprehensif terhadap kekuatan tarik dan karakteristik metalografi untuk memahami performa sambungan yang dihasilkan.

Pengujian kekuatan tarik merupakan metode yang umum digunakan untuk menilai kemampuan sambungan dalam menahan beban mekanik sebelum mengalami kegagalan. Di sisi lain, analisis metalografi memberikan informasi mengenai struktur mikro, seperti ukuran butir, zona lebur (*fusion zone*), dan daerah terpengaruh panas (*heat affected zone/ HAZ*), yang berperan penting dalam menentukan sifat mekanik material [4]. Kombinasi kedua pendekatan ini memungkinkan evaluasi yang lebih menyeluruh terhadap kualitas hasil pengelasan.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa perubahan struktur mikro akibat proses *spot welding* dapat berdampak signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan, terutama pada material berbasis austenitik [5]. Namun, kajian yang secara khusus membahas hubungan antara kekuatan tarik dan karakteristik metalografi pada sambungan *spot welding* AISI 321 masih terbatas, terutama dengan pendekatan eksperimental yang sederhana [6].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan tarik serta karakteristik metalografi pada sambungan *spot welding* menggunakan material AISI 321. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai hubungan antara struktur mikro dan sifat mekanik, serta menjadi referensi dalam otomasi proses pengelasan pada material sejenis.

II. METODE PENELITIAN

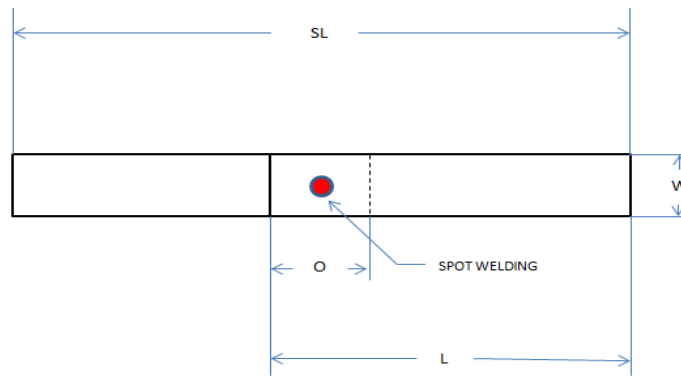
Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan untuk menganalisis kekuatan tarik dan karakteristik metalografi pada sambungan hasil proses *spot welding* menggunakan material AISI 321. Pendekatan yang digunakan adalah kuantitatif melalui pengujian mekanik dan observasi struktur mikro.

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja tahan karat austenitik AISI 321 dalam bentuk lembaran. Spesimen disiapkan dengan dimensi tertentu sesuai standar pengujian tarik sambungan las. Sebelum proses pengelasan, permukaan material dibersihkan untuk menghilangkan kontaminan seperti minyak, oksida, dan kotoran guna memastikan kualitas sambungan yang optimal.

Tabel 1. Komposisi baja AISI 321

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Unsur	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti	N	Cu	Mo	Fe
Kandungan (%)	0,034	0,39	1,23	0,028	0,002	17,2	9,1	0,39	0,010	0,16	0,21	71,246

Sumber : <http://rdsujono.blogspot.com/2011/12/stainless-steel-aisi-321.html>



Gambar 1. Spesimen uji

Dimana :

W = 30 mm L = 100 mm SL = 170 mm O = 30 mm



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 2. Proses penyambungan dilakukan menggunakan metode *resistance spot welding* (RSW). Dua lembar material AISI 321 disusun secara tumpang (*lap joint*), kemudian dijepit menggunakan elektroda berbahan paduan tembaga. Arus listrik dialirkan melalui elektroda untuk menghasilkan panas akibat hambatan listrik pada area kontak hingga terbentuk nugget las.

Parameter pengelasan dijaga konstan selama proses berlangsung (misalnya arus, waktu pengelasan, dan tekanan elektroda) untuk memastikan konsistensi hasil, mengingat penelitian ini hanya menggunakan satu jenis spesimen tanpa variasi parameter.

Setelah proses pengelasan, spesimen diuji menggunakan mesin uji tarik. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kekuatan maksimum sambungan dalam menahan beban tarik hingga terjadi kegagalan[7]. Parameter yang diamati dalam pengujian ini meliputi Beban maksimum (*ultimate tensile load*), serta Lokasi dan jenis kegagalan (pada *nugget*, HAZ, atau *base metal*). Hasil pengujian digunakan untuk mengevaluasi kualitas mekanik sambungan *spot welding*.

Pengujian metalografi dilakukan untuk mengamati struktur mikro pada daerah sambungan las[8]. Tahapan preparasi spesimen meliputi; pemotongan spesimen pada area sambungan, *Mounting* (penanaman spesimen dalam resin), *Grinding* dan *polishing* hingga permukaan halus, *Etching*

menggunakan larutan kimia yang sesuai untuk baja tahan karat, Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop optik untuk mengidentifikasi, Zona lebur (*fusion zone*), Daerah terpengaruh panas (*Heat Affected Zone/ HAZ*), Struktur mikro logam induk (*base metal*)[9].

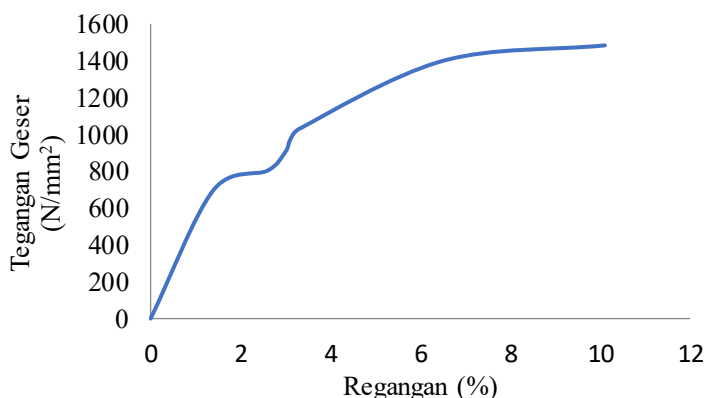
Data hasil pengujian tarik dianalisis untuk menentukan kekuatan maksimum sambungan dan pola kegagalan. Sementara itu, hasil pengamatan metalografi dianalisis secara kualitatif untuk melihat perubahan struktur mikro akibat proses pengelasan. Selanjutnya, dilakukan korelasi antara hasil uji tarik dan karakteristik mikrostruktur untuk memahami pengaruh struktur mikro terhadap kekuatan sambungan *spot welding* pada material AISI 321.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kemampuan sambungan *spot welding* dalam menahan beban tarik hingga terjadi kegagalan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai beban maksimum yang mampu ditahan oleh spesimen adalah sebesar 1.483 N/mm^2

Kurva hubungan antara beban dan perpanjangan ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan kurva tersebut, terlihat bahwa spesimen mengalami peningkatan beban secara linier hingga mencapai titik maksimum, kemudian diikuti dengan penurunan beban yang menunjukkan terjadinya kegagalan sambungan.



Gambar 3. Kurva hubungan tegangan versus regangan

Jenis kegagalan yang terjadi pada spesimen adalah *interfacial failure*. Kegagalan ini terjadi pada bagian *Heat Affected Zone (HAZ)*, yang menunjukkan bahwa area tersebut merupakan titik terlemah dari sambungan.

Jenis Spesimen	Waktu Pengelasan	Bagian Depan	Bagian Dalam	Nugget Bagian Luar	Nugget Bagian Dalam
AISI 321	1 dt				
	1.5 dt				
	2 dt				

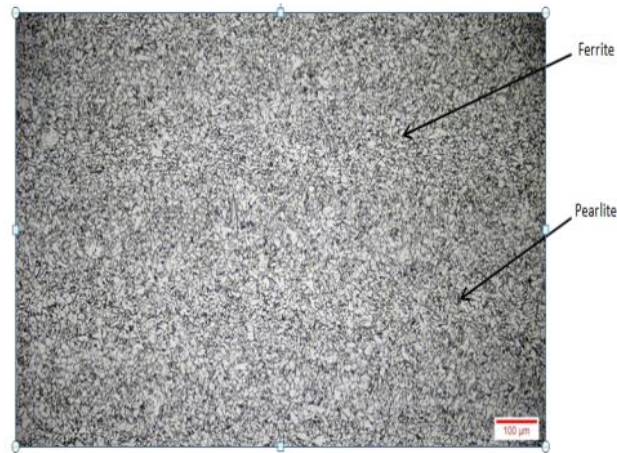
Gambar 4. Hasil Proses Uji Tarik

Nilai kekuatan tarik yang diperoleh dipengaruhi oleh kualitas nugget las yang terbentuk selama proses spot welding. Nugget yang baik umumnya memiliki ukuran yang cukup dan penetrasi yang optimal, sehingga mampu meningkatkan kekuatan sambungan[10].

3.2 Hasil Pengujian Metalografi

3.2.1 Logam induk (base metal)

Hasil pengamatan struktur mikro sambungan *spot welding* ditunjukkan pada Gambar berikut dibawah ini. Berdasarkan hasil metalografi, daerah sambungan dapat dibagi menjadi tiga bagian utama. Logam induk (base metal) Menunjukkan struktur mikro khas baja austenitik AISI 321 dengan butiran yang relatif seragam ditunjukkan pada Gambar 4.

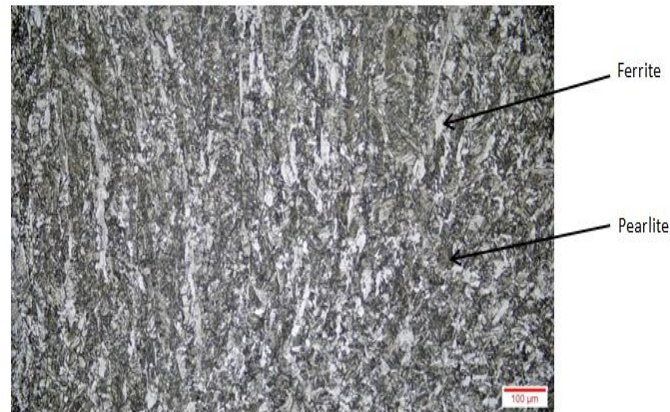


Gambar 4. Struktur mikro logam induk (base metal) (Perbesaran 200x)

Daerah terpengaruh panas (Heat Affected Zone/ HAZ) terjadi perubahan ukuran butir akibat siklus termal selama proses pengelasan[11]. Butir cenderung mengalami pembesaran dibandingkan logam induk ditunjukkan pada Gambar 5. Zona lebur (fusion zone/nugget) Merupakan daerah yang mengalami pencairan dan pembekuan kembali. Struktur mikro pada zona ini terlihat lebih halus atau memiliki pola dendritik akibat proses solidifikasi cepat. Jika diamati lebih lanjut, ukuran *nugget* yang terbentuk adalah berpengaruh langsung terhadap kekuatan mekanik sambungan ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Struktur mikro daerah pengaruh panas/ HAZ (Perbesaran 200x)



Gambar 6. Struktur mikro daerah lebur (perbesaran 200x)

3.3 Pembahasan

Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa kekuatan sambungan *spot welding* pada AISI 321 dipengaruhi oleh karakteristik mikrostruktur yang terbentuk selama proses pengelasan. Hubungan ini dapat dilihat dari keterkaitan antara ukuran nugget, struktur mikro, dan lokasi kegagalan.

Pada daerah nugget, proses pendinginan cepat menyebabkan terbentuknya struktur mikro yang lebih halus, yang pada umumnya meningkatkan kekuatan material. Namun, apabila ukuran nugget terlalu kecil atau tidak terbentuk secara sempurna, maka sambungan akan cenderung mengalami kegagalan pada antarmuka (*interfacial failure*).

Sementara itu, pada daerah HAZ, paparan panas dapat menyebabkan pertumbuhan butir yang berlebihan. Pembesaran butir ini berpotensi menurunkan kekuatan mekanik karena berkurangnya batas butir yang berfungsi sebagai penghalang pergerakan dislokasi.

Jenis kegagalan yang terjadi pada penelitian ini, yaitu *interfacial failure*, menunjukkan bahwa kualitas nugget baik / kurang optimal. Jika kegagalan terjadi pada *nugget pull-out*, maka hal ini mengindikasikan bahwa ikatan antar lembaran cukup kuat. Sebaliknya, jika terjadi *interfacial failure*, maka kualitas sambungan masih perlu ditingkatkan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kualitas sambungan *spot welding* pada AISI 321 sangat bergantung pada keseimbangan antara parameter proses dan pembentukan struktur mikro yang optimal. Meskipun parameter dijaga konstan, variasi kecil dalam distribusi panas tetap dapat mempengaruhi hasil akhir sambungan.

Tabel 2. Hasil perhitungan pengujian *shear test*

Spesimen	Arus (Ampere)	Waktu (detik)	Beban Maksimum (Kg _f)	Tegangan Geser (N/mm ²)
1	5010	1	550	1.073
2		1.5	570	1.112
3		2	760	1.483

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, sambungan spot welding pada material AISI 321 menghasilkan kekuatan tarik maksimum sebesar 1,483 N/mm². Nilai tersebut menunjukkan bahwa kekuatan sambungan sangat dipengaruhi oleh kualitas pembentukan nugget selama proses pengelasan. Hasil pengujian metalografi memperlihatkan tiga zona utama, yaitu logam induk (base metal), daerah terpengaruh panas (Heat Affected Zone/HAZ), dan zona lebur (fusion zone). Perubahan struktur mikro paling signifikan terjadi pada zona nugget dan HAZ akibat siklus termal pengelasan. Struktur mikro pada zona nugget cenderung lebih halus karena mengalami proses pendinginan yang cepat, sedangkan pada daerah HAZ terjadi pembesaran butir yang berpotensi menurunkan kekuatan mekanik material. Pengujian tarik menunjukkan jenis kegagalan berupa *interfacial failure*, yaitu kegagalan yang terjadi

pada bidang antarmuka sambungan, sehingga mengindikasikan bahwa kualitas sambungan masih kurang optimal. Secara keseluruhan, terdapat hubungan yang erat antara karakteristik struktur mikro dan kekuatan tarik sambungan, dengan kualitas nugget serta perubahan struktur mikro pada daerah HAZ sebagai faktor utama yang memengaruhi performa mekanik sambungan spot welding pada AISI 321.

UCAPAN TERIMA KASIH

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. R. Davis, *Stainless Steels*. Materials Park, OH, USA: ASM International, 1994.
- [2] S. Kou, *Welding Metallurgy*, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley-Interscience, 2003.
- [3] J. C. Lippold and D. J. Kotecki, *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2005.
- [4] ASTM International, *Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*, ASTM E407. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International.
- [5] H. Zhang and J. Senkara, *Resistance Welding: Fundamentals and Applications*, 2nd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2011.
- [6] G. E. Totten, Ed., *Steel Heat Treatment Handbook*, 2nd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2006.
- [7] W. D. Callister, Jr. and D. G. Rethwisch, *Materials Science and Engineering: An Introduction*, 10th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2018.
- [8] ASM International, *Metallography and Microstructures*, vol. 9 of ASM Handbook. Materials Park, OH, USA: ASM International, 2004.
- [9] J. F. Lancaster, *The Metallurgy of Welding*, 6th ed. Cambridge, U.K.: Woodhead Publishing, 1999.
- [10] R. W. Messler, Jr., *Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy*. Hoboken, NJ, USA: Wiley-Interscience, 2004.
- [11] G. E. Dieter, *Mechanical Metallurgy*, 3rd ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1986.