

OPTIMASI PARAMETER PENGELASAN *RESISTANCE SPOT WELDING* TERHADAP KUALITAS SAMBUNGAN *DISSIMILAR MATERIAL MILD STEEL, GALVANIZED STEEL* DAN *STAINLESS STEEL*

ARIYANTO

D043192001



PROGRAM STUDI ILMU TEKNIK MESIN

SEKOLAH PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2023

OPTIMASI PARAMETER PENGELASAN *RESISTANCE SPOT WELDING* TERHADAP KUALITAS SAMBUNGAN *DISSIMILAR MATERIAL MILD STEEL, GALVANIZED STEEL* DAN *STAINLESS STEEL*

Disertasi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar doktor

Program Studi Ilmu Teknik Mesin

Disusun dan diajukan oleh

ARIYANTO

D043192001

Kepada

**PROGRAM STUDI ILMU TEKNIK MESIN
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

DISERTASI**OPTIMASI PARAMETER PENGELASAN *RESISTANCE SPOT WELDING* TERHADAP KUALITAS SAMBUNGAN MATERIAL *MILD STEEL, GALVANIZED STEEL* DAN *STAINLESS STEEL*****ARIYANTO
NIM : D043192001**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian Disertasi yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Doktor Ilmu Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 28 Februari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui
Promotor



Prof. DR. Ir. H. Ilyas Renreng, M.T
Nip 19570914 198703 1 001

Co-Promotor



DR. H. Hairul Arsyad, ST.,MT
Nip 19750322 200212 1 001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin

Co-Promotor



Dr. Muhammad Syahid, S.T.,M.T
NIP. 19770707 200511 1 001

Ketua Program Studi,
S3 Ilmu Teknik Mesin



Prof. Dr. Eng Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT
NIP. 19730926200012 1 002



DR. Eng Andi Amijoyo Mochtar, ST., M. Eng
NIP. 19760216201012 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, disertasi berjudul “optimasi parameter pengelasan *resistance spot welding* terhadap kualitas sambungan *dissimilar material mild steel, galvanized steel* dan *stainless steel* “ adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing

(Prof. DR. Ir. H. Ilyas Renreng, M.T sebagai promotor, DR. H. Hairul Arsyad, ST.,MT sebagai ko-promotor-1, dan DR. Muhammad Syahid, ST.,MT sebagai ko-promotor-2). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi apapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka disertasi ini. Sebagian dari disertasi ini telah diseminasikan di seminar internasional IC-EMAAM terindeks scopus dengan judul artikel “Optimization Parameter Resistance Spot Welding Dissimilar Material-A Review” dan di International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research terindeks scopus Q3 dengan judul artikel “Optimization of Welding Parameters for Resistance Spot Welding with Variations in The Roughness of the Surface of the AISI 304 Stainless Steel Joint to Increase Joint Quality”.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa disertasi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, Februari 2023



ARIYANTO

NIM : D043192001

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya bersyukur bahwa disertasi ini akhirnya dapat terselesaikan dengan baik. Penelitian yang saya lakukan dapat terlaksana dengan sukses dan disertasi ini dapat terampungkan atas bimbingan, diskusi dan arahan Prof. DR. Ir. H. Ilyas Renreng, M.T sebagai promotor, DR. H. Hairul Arsyad, ST., MT sebagai ko-promotor-1, dan DR. Muhammad Syahid, ST., MT sebagai ko-promotor-2, Prof. Dr. Ir. Onny Sutresman, MT sebagai penguji, Dr. Ir. Ahmad Yusran Aminy, MT sebagai penguji, Dr. Eng Lukmanul Hakim Arma, ST., MT sebagai penguji, Azwar Hayat, ST., M.Sc., Ph.D sebagai penguji. Prof. DR. Ir. Praktiko, M.MT sebagai penguji. Saya mengucapkan berlimpah terima kasih kepada mereka.

Penghargaan yang tinggi juga saya sampaikan kepada Bapak Ir Muhammad Basri, MM yang telah mengizinkan kami untuk penelitian di kampus Politeknik ATI Makassar, kepada DR. Eng Abdul Nasser Arifin, ST., M.Eng atas kesempatan untuk menggunakan fasilitas dan peralatan di laboratorium pemeliharaan mesin, kepada DR. Muhammad Setiawan Sukradin, ST., MT atas dukungan menggunakan fasilitas dan peralatan di laboratorium pengujian material, kepada DR. Muhammad Syahid, ST., MT atas dukungan menggunakan fasilitas pengujian komposisi material di laboratorium pengecoran logam, kepada Epafroditus Pakiding atas dukungan menggunakan fasilitas pengujian uji Tarik geser workshop pengelasan BLKI Makassar, kepada Hendra M atas dukungan pengujian struktur SEM dan EDS di lab pengujian material UMI, kepada tim riset pengelasan workshop pengelasan Politeknik ATI Makassar atas dukungan proses pengelasan sampel *resistance spot welding*, kepada teman-teman mahasiswa program doktor Teknik Mesin Universitas Hasanuddin atas kebersamaan selama proses studi berlangsung, kepada instruktur serta teman-teman scopus camp atas kebersamaan dalam publikasi tulisan hasil penelitian ke jurnal terindeks scopus, dan kepada Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Industri Kementerian Perindustrian R.I saya mengucapkan terima kasih atas bantuan dana yang diberikan selama menempuh program Pendidikan doktor. Ucapan terima kasih juga saya ucapkan kepada pimpinan Universitas Hasanuddin dan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi saya

menempuh program doktor serta para dosen dan rekan-rekan dalam tim penelitian.

Akhirnya, kepada kedua orang tua dan kedua mertua tercinta saya mengucapkan limpahan terima kasih dan sembah sujud atas doa, pengorbanan, dan motivasi mereka selama saya menempuh pendidikan. Penghargaan yang besar juga saya sampaikan kepada istri, anak dan seluruh keluarga (kakak, adik, ipar, paman, tante dan sepupu) atas motivasi dan dukungan yang tak ternilai.

Penulis,

ARIYANTO

NIM : D043192001

ABSTRAK

Ariyanto. *Optimasi parameter pengelasan resistance spot welding terhadap kualitas sambungan dissimilar material mild steel, galvanized steel dan stainless steel (dibimbing oleh Ilyas Renreng, Hairul Arsyad, dan Muhammad Syahid).*

Banyak temuan telah dipublikasikan mengenai optimasi parameter pengelasan resistance spot welding, namun bagaimana pengaruh perlakuan kekasaran permukaan daerah sambungan, terhadap kualitas sambungan pengelasan belum diketahui. Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh perlakuan kekasaran permukaan pada bahan *similar* dan *dissimilar* untuk menaikkan kualitas sambungan pengelasan. Penelitian dibagi tiga tahap, yakni: 1) review jurnal teknis mengenai parameter yang paling banyak dikaji oleh peneliti selama 20 tahun terakhir; 2) optimasi parameter pengelasan dengan perlakuan kekasaran untuk bahan *similar AISI 304 stainless steel*; 3) optimasi *resistance spot welding* dengan kekasaran permukaan untuk *dissimilar mild steel* dengan *galvanized steel*. Metode analisis dibagi beberapa tahap, yaitu: 1) analisis review jurnal secara manual dan software *vosviewer*; 2) metode analisis dengan taguchi; 3) analisis kekuatan sambungan dengan pengujian tarik geser; 4) analisis permukaan sambungan dengan software *gwyddion*; 5) analisis struktur mikro sambungan dengan SEM; 6) analisis komposisi sambungan dengan EDS. Kami menemukan, parameter yang paling banyak diteliti saat ini adalah arus, waktu dan tekanan elektroda. Untuk sambungan *similar AISI 304 stainless steel* kekasaran permukaan Ra 0.2 μm dengan arus 7 kA yang paling optimal kekuatan tarik geser, dengan nilai 680 N/mm². Kekasaran permukaan Ra 0.2 μm yang paling optimal kontur permukaan dengan nilai 0.82 μm . Untuk sambungan dissimilar mild dengan galvanis parameter paling optimum yaitu; kekasaran permukaan Ra 0.2 \pm 0.04 μm , arus pengelasan 8 kA, waktu pengelasan 7 detik, dan tekanan elektroda 40 Psi. Cacat paling banyak terjadi pada sambungan yang memiliki kekuatan tarik geser terendah, sebaliknya cacat paling sedikit terjadi pada sambungan pengelasan yang memiliki kekuatan tarik geser tertinggi.

Kata kunci: *resistance spot welding*, kekasaran permukaan, arus pengelasan, waktu pengelasan, tekanan elektroda.

ABSTRACT

Ariyanto. Optimization of welding parameters resistance spot welding to the quality of dissimilar materials joints of mild steel, galvanized steel and stainless steel (guided by Ilyas Renreng, Hairul Arsyad, and Muhammad Syahid).

Many findings have been published regarding the optimization of resistance spot welding parameters, however the surface roughness treatment of the joint area affects the quality of the welding joint is not yet known. This study aims to examine the effect of surface roughness treatment on similar and dissimilar materials to improve the quality of welding joints. The research is divided into three stages, namely: 1) a review of technical journals regarding the parameters most studied by researchers over the past 20 years; 2) optimization of welding parameters with roughness treatment for materials similar to AISI 304 stainless steel; 3) optimization of resistance spot welding with surface roughness for dissimilar mild steel with galvanized steel. The analysis method is divided into several stages, namely: 1) manual analysis of journal reviews and vosviewer software; 2) analysis by taguchi method; 3) Connection strength analysis with shear tensile testing; 4) surface connection analysis with gwyddion software; 5) microstructure analysis of the joint with SEM; 6) analysis of the composition of the joint with EDS. We found, the most researched parameters today are current, time and electrode pressure. For similar joints AISI 304 stainless steel surface roughness Ra 0.2 μm with a current of 7 kA the most optimal shear tensile strength, with a value of 680 N/mm². Surface roughness Ra 0.2 μm is the most optimal contour of the surface with a value of 0.82 μm . For dissimilar connections mild with galvanized, the most optimum parameters are; surface roughness Ra 0.2±0.04 μm , welding current 8 kA, welding time 7 seconds, and electrode pressure 40 Psi. most numerous defects occur in joints that have a minimum shear tensile strength, the least defects occur in welding joints that have optimum shear tensile strength.

Keywords: resistance spot welding, surface roughness, welding current, welding time, electrode pressure.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGAJUAN.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR ISTILAH, SINGKATAN, DAN LAMBANG.....	xv
BAB I PENDAHULUAN UMUM.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Kegunaan Penelitian	4
BAB II KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS PENELITIAN.....	5
2.1. Kerangka Konseptual.....	5
2.1.1 Resistance Spot Welding (RSW).....	5
2.1.2 Parameter Pengelasan <i>Resistance Spot Welding (RSW)</i>	6
2.1.3 Pengelasan <i>Resistance Spot Welding (RSW) Dissimilar Material</i>	7
2.1.4 Pengujian Sambungan Las.....	8
2.1.5 . Gwyddion Open Source Software.....	9
2.1.6 Kekasaran Permukaan	9
2.1.7 Kerangka Pemikiran Penelitian.....	11
2.2 Hipotesis Penelitian.....	11
BAB III TOPIK PENELITIAN I	12
3.1. Abstrak.....	12
3.2. Pendahuluan.....	13
3.3 Metode.....	14

3.4 Hasil dan Pembahasan	17
3.5 Kesimpulan	36
3.6 Daftar Pustaka	36
3.7 Lampiran Artikel	43
BAB IV TOPIK PENELITIAN II.....	53
4.1. Abstrak.....	53
4.2. Pendahuluan.....	53
4.3 Metode.....	55
4.4 Hasil dan Pembahasan	60
4.5 Kesimpulan	68
4.6 Daftar Pustaka	73
4.7 Lampiran Artikel.....	75
BAB V TOPIK PENELITIAN III.....	84
5.1. Abstrak.....	84
5.2. Pendahuluan.....	84
5.3 Metode.....	86
5.4 Hasil dan Pembahasan	97
5.5 Kesimpulan	112
5.6 Daftar Pustaka	112
BAB VI PEMBAHASAN UMUM.....	117
BAB VII KESIMPULAN UMUM.....	132
7.1. Kesimpulan.....	132
7.2. Saran.....	132

DAFTAR TABEL

Nomor urut	Halaman
3.1 Komposisi AISI 304.....	50
3.2 Parameter dan kondisi pengelasan	52
3.3 Foto makro dengan variasi kekasaran.....	57
4.1 Komposisi kimia spesimen (wt %)......	80
4.2 Parameter Pengelasan	83
4.3 Experimental matrix berdasarkan metode taguchi.....	84
4.4 Experimental matrix Array L16.....	86
4.5 <i>Variables Entered</i> dan <i>Variables Dependent</i>	88
4.6 <i>Analysis of variance</i>	88
4.7 Experimental matrix Array L16.....	89
4.8 Data faktor parameter pengelasan.....	90
4.9 Data analisis varians dari kekuatan tarik geser.....	91
4.10 Persentase Massa (%) Masing-Masing Unsur	97
4.11 Persentase Massa (%) Masing-Masing Unsur	98

DAFTAR GAMBAR

Nomor urut	Halaman
2.1 Proses pemilihan sumber literatur dan analisis vosviewer.....	9
2.2 Parameter resistance spot welding.....	27
2.3 Visualisasi jaringan resistance spot welding.....	28
3.1 Diagram Skematik eksperimen	50
3.2 Proses Uji Kekasaran Dengan Surftest SJ 310 Mitutoyo.....	51
3.3 Mesin las resistance spot welding (RSW)	52
3.4 Mesin Uji Tarik	53
3.5 parameter pengelasan: tekanan elektroda 30 Psi, arus 5 kA, dan waktu pengelasan 5 detik	54
3.6 parameter pengelasan : tekanan elektroda 40 Psi, arus 6 kA, dan waktu pengelasan 6 detik.....	55
3.7 parameter pengelasan : tekanan elektroda 50 Psi, arus 7 kA, dan waktu pengelasan 7 detik	56
3.8 Kontur permukaan area mengalami tekanan elektroda dengan kekasaran permukaan Ra 0.34 μm	59
3.9 Kontur permukaan area yang mengalami tekanan elektroda dengan kekasaran Ra 0.33 μm	60
3.10 Kontur permukaan area yang mengalami tekana elektroda dengan kekasaran permukaan Ra 0.24 μm	60
3.11 Kontur permukaan area yang mengalami tekanan elektroda Dengan kekasaran permukaan Ra 0.20 μm	61
4.1 Dimensi spesimen.....	80
4.2 Rt adalah analog dari Pt untuk profil yang disaring.....	81
4.3 Definisi dan menurut (a) ISO (b) DIN.....	81
4.4 Derivasi dari kekasaran rata-rata Ra	82
4.5 Resistance spot welding	83
4.6 Taguchi diameter nugget	87
4.7 Taguchi kekuatan tarik geser.....	90
4.9 Kontur spesimen yang memiliki kekuatan tarik terendah	92

4.10 Kontur spesimen yang memiliki kekuatan tarik tertinggi	93
4.11 SEM Kekuatan tarik geser terendah	94
4.12 SEM kekuatan tarik geser terendah (A) pembesaran 100 kali, (B) pembesaran 7000 kali, (C) pembesaran 8000 kali, (D) pembesaran 34000 kali	94
4.13 SEM Kekuatan tarik geser tertinggi	95
4.14 SEM kekuatan tarik geser tertinggi (A) pembesaran 100 kali, (B) pembesaran 7000 kali, (C) pembesaran 8000 kali, (D) pembesaran 34000 kali.....	95
4.15 EDS Spesimen Kekuatan Tarik Terendah	96
4.16 EDS Spesimen Kekuatan Tarik Tertinggi	98

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor urut	Halaman
2.7 Lampiran artikel optimization parameter resistance spot welding dissimilar material-review.....	37
3.7 Lampiran artikel optimization of welding parameters for resistance spot welding with variations in the roughness of the surface of the AISI 304 stainless steel joint to increase joint quality.....	54
3.7 Lampiran artikel optimization of welding parameters for resistance spot welding with variations in the roughness of the surface of the AISI 304 stainless steel joint to increase joint quality.....	66
3.8 Lampiran data pengujian kekasaran.....	73

DAFTAR ISTILAH, SINGKATAN, DAN LAMBANG

Istilah	Arti dan Penjelasan
Optimasi	Proses perlakuan pada parameter las untuk mendapatkan kualitas pengelasan
Pengelasan	Salah satu metode untuk menyambung dua buah material baik sejenis maupun berlainan jenis
RSW	Resistance Spot Welding, Salah satu mesin las yang banyak digunakan di industri khususnya otomotif
Parameter pengelasan	Sesuatu yang disetting dalam proses pengelasan yaitu arus pengelasan, waktu pengelasan, tekanan elektroda dan kekasaran permukaan
Kualitas sambungan	Kualitas sambungan berdasarkan kekuatan tarik geser, diameter nugget, kontur permukaan dikenai elektroda, dan cacat sambungan.
Sambungan similar	Sambungan antara dua material yang memiliki komposisi material yang sama
Sambungan dissimilar	Sambungan antara dua material yang memiliki komposisi material yang berbeda

BAB I

PENDAHULUAN UMUM

1.1 Latar Belakang

Proses pengelasan yang paling banyak digunakan di industri untuk material pelat-pelat tipis adalah *resistance spot welding (RSW)*, digunakan menyambung material sejenis (*similar*) dan material berbeda jenis (*dissimilar*). Prinsip kerja *resistance spot welding* adalah material disambung akibat adanya panas dan tekanan, panas ini disebabkan oleh resistensi terhadap aliran arus listrik melalui benda kerja, tekanan diakibatkan oleh tekanan elektroda (Jeffus, 2012). *Resistance spot welding (RSW)* sangat dibutuhkan di industri otomotif, digunakan untuk menyambung lembaran bodi kendaraan (Han dkk, 2010), atau struktur *body in white (BIW)* otomotif (X. Liu dkk, 2020), sebuah kendaraan terdapat lebih dari 3000 titik las (Verma dkk, 2014). *Dissimilar material* memiliki *prospective* yang baik untuk digunakan di industri otomotif dan kedirgantaraan tetapi memiliki tantangan bagaimana menghasilkan sambungan yang berkualitas (Đurić dkk, 2022). Agar kendaraan lebih aman sebagai solusi merespon persyaratan keselamatan penumpang (Essoussi dkk 2019) dan menghindari karat pada bodi kendaraan maka sangat perlu dicari solusi pengganti atau menyambung daerah-daerah yang mudah berkarat dengan material yang memiliki kemampuan menahan karat yang baik, yaitu *AISI 304 stainless steel* atau *galvanized steel*, yang banyak digunakan pada industri otomotif (Essoussi dkk 2019), karena tahan korosi dan sifat mampu las yang baik (Singh dkk 2018). Namun tantangan kemudian, bagaimana mendapatkan kualitas sambungan las antara AISI 304 dengan AISI 304 dan Mild steel dengan *galvanized steel* karena pada kedua material ada lapisan zinc, sehingga resistensi kontak antara kedua material tidak maksimal.

Resistensi kontak memainkan peran utama dalam menentukan kualitas las. Kontak resistensi dipengaruhi oleh, kekasaran permukaan (Aminzadeh dkk, 2020). Kekasaran permukaan signifikan mempengaruhi resistensi kontak (Al Naimi dkk, 2015). Pada material *galvanized steel*, pengeluaran dengan paksa lapisan *galvanized* menyebabkan besarnya diameter nugget. Menurut, Valaee Tale dkk (Valaee-Tale dkk 2020) diameter nugget adalah salah satu parameter

menentukan kekuatan sambungan las. Pada pengelasan RSW tekanan antara kedua elektroda yang berlebihan menyebabkan ketidak aturan permukaan sambungan las (Ulbrich & Kańczurzewska, 2022), sementara tekanan elektroda yang kurang menyebabkan sambungan las tidak optimal. Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian bagaimana mendapatkan kekasaran permukaan kontak yang tepat antara kedua spesimen, dengan hasil sambungan yang optimal dan cacat lubang minimum pada permukaan yang bersentuhan elektroda.

Kajian pengelasan *resistance spot welding (RSW) dissimilar* material saat ini semakin banyak dilakukan, seperti yang telah dilakukan oleh Amin (Amin, 2017) meneliti, pengaruh variasi arus listrik terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro sambungan las titik logam dissimilar stainless steel dan baja karbon menemukan bahwa kondisi terbaik terjadi pada arus listrik 70 A. Demikian pula Rajarajan dkk (2019) meneliti, pengaruh variasi arus las titik terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja fasa ganda, hasil penelitian menunjukkan, dengan menaikkan arus las maka nilai kekuatan tarik geser meningkat, hingga batas tertentu mengalami penurunan. S. H. Mousavi Anijdan (2018) meneliti, pengaruh parameter pengelasan terhadap kekuatan tarik geser dual phase steel DP600 dan AISI 304 stainless steel, hasil menunjukkan bahwa parameter optimal yaitu arus 8 Kamp, waktu penahanan setelah pengelasan 40 siklus, waktu pengelasan 16 siklus dan gaya elektroda 5 kN. S. M. Hassoni dkk (2022) meneliti parameter optimal las titik dengan metode taguchi, hasil menunjukkan parameter optimal yang dicapai adalah gaya elektroda 2.3 kN, waktu pengelasan 10 siklus, dan arus pengelasan 8 kA . Untuk variasi kekasaran beberapa peneliti yang telah melakukan antara lain : M. Lopatková dkk (2021) meneliti, pengaruh kekasaran elektroda dengan menggunakan amplas untuk memberikan efek kekasaran permukaan elektroda, menemukan bahwa dengan menggunakan elektroda yang kasar terjadi penurunan resistensi kontak sehingga panas yang dihasilkan permukaan resistensi berkurang. Haghshenas dan Moshayedi (2020) meneliti, pengaruh perpindahan elektroda terhadap kekuatan pengelasan, ada berbagai macam faktor yang mempengaruhi antara lain; pergerakan elektroda, parameter pengelasan, kondisi permukaan lembaran dan degradasi elektroda.

Namun berdasarkan literatur yang telah kami pelajari, belum ada informasi penelitian tentang studi pengaruh parameter pengelasan, kekasaran permukaan, dan kehalusan permukaan-sambungan material *mild steel*, AISI 304 stainless steel dan *Galvanized steel* terhadap kekuatan dan cacat minimum permukaan kontak elektroda. Oleh sebab itu, penulis mencoba untuk meneliti variasi parameter pengelasan, kekasaran permukaan sambungan, dan cacat minimum kontur permukaan kontak elektroda. Pada penelitian yang kami akan lakukan, terdiri dari beberapa tahap yaitu : Pertama, melakukan persiapan material dengan memberikan kekasaran yang bervariasi pada permukaan kontak antara kedua spesimen. Kedua spesimen dilas dengan mengkonstantakan ketiga parameter pengelasan yaitu waktu, arus dan tekanan elektroda, dengan variasi kekasaran permukaan berbeda. Selanjutnya dari tiga parameter pengelasan satu parameter divariasikan dua parameter dikonstantakan, dengan pemilihan variasi berdasarkan taguchi method. Kemudian spesimen yang telah tersambung dianalisa kontur permukaannya, dengan menggunakan software gwyddion (Klapetek dkk 2009). Selanjutnya kekuatan sambungan dianalisa berdasarkan uji tarik geser, dengan memperhatikan mode kegagalan yang terjadi pada sambungan las. Selanjutnya struktur mikro dianalisa berdasarkan pengujian SEM dan terakhir komposisi kimia material dianalisa dengan menggunakan EDS. Dari hasil penelitian diharapkan hasil analisis tingkat kekasaran yang paling optimum, dengan hasil sambungan yang optimum dan cacat lubang kontur permukaan yang minimum, sehingga dimungkinkan mengurangi biaya pengecatan, menghasilkan permukaan yang tahan lama (S.M dkk 2019) pada saat finishing bodi kendaraan.

1.2 Rumusan Masalah

Optimasi parameter pengelasan *resistance spot welding dissimilar* material secara umum telah banyak dikaji oleh peneliti. Tetapi khusus review jurnal parameter yang paling diteliti serta pengujian parameter berupa arus, waktu, tekanan elektroda, dan kekasaran permukaan sambungan *similar AISI 304* dan *dissimilar mild steel* dengan *galvanized steel* masih terbatas, khususnya persiapan material dengan variasi kekasaran permukaan menggunakan amplas, serta analisa kontur permukaan sambungan belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini dirumuskan : 1) bagaimana review jurnal teknis mengenai parameter

resistance spot welding yang paling banyak dikaji oleh peneliti selama 20 tahun terakhir; 2) bagaimana optimasi parameter pengelasan dengan perlakuan kekasaran untuk bahan *similar AISI 304 Stainless steel*; 3) bagaimana optimasi parameter *resistance spot welding* dengan kekasaran permukaan untuk dissimilar *mild steel* dengan *galvanized steel* .

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah penelitian, maka tujuan penelitian ini adalah untuk : 1) mereview jurnal teknis mengenai *parameter resistance spot welding* yang paling banyak dikaji oleh peneliti selama 20 tahun terakhir; 2) mengoptimasi parameter pengelasan *resistance spot welding* dengan perlakuan kekasaran untuk bahan similar AISI 304 Stainless steel; 3) mengoptimasi parameter *resistance spot welding* dengan kekasaran permukaan untuk material dissimilar *mild steel* dengan *galvanized steel* .

1.4 Kegunaan Penelitian

Adapun kegunaan yang diharapkan dari penelitian ini adalah : (1) Manfaat teoritis, dengan melakukan penelitian ini maka diketahui pengaruh kekasaran permukaan sambungan terhadap kekuatan sambungan *resistance spot welding* dan cacat lubang daerah tekanan elektroda, sehingga bisa menjadi acuan untuk penelitian similar dan dissimilar material lainnya. (2) Manfaat di industri, dengan mengetahui pengaruh kekasaran permukaan sambungan terhadap kekuatan sambungan las *resistance spot welding*, bisa menjadi acuan bagi welding engineer pada saat pembuatan WPS. Sehingga didapatkan sambungan yang optimal dan menjadi acuan pengelasan bagi welder di dunia industri. Mengurangi penggunaan dempul dan cat, pada saat proses finishing bodi di industri otomotif.

BAB II

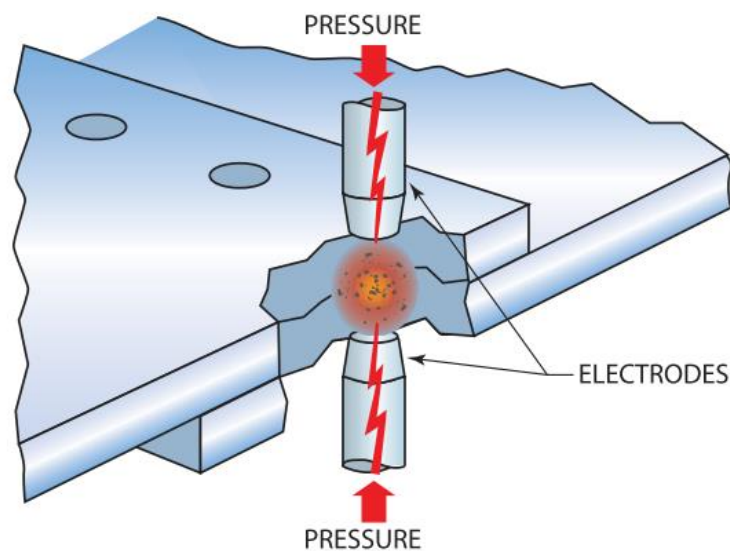
KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS PENELITIAN

2.1 Kerangka Konseptual

Kerangka konseptual merupakan hasil rangkuman teori-teori yang mendasari penelitian dalam rangka memecahkan masalah penelitian yang disertai dengan narasi (Ramli, 2023).

2.1.1 *Resistance Spot Welding (RSW)*

Resistance spot welding (RSW) merupakan proses pengelasan dengan memanfaatkan panas dan tekanan. Pengelasan ini paling umum digunakan di industri otomotif dari berbagai proses pengelasan resistansi. Prinsip kerja *resistance spot welding* adalah material disambung akibat adanya panas dan tekanan, panas ini disebabkan oleh resistensi terhadap aliran arus listrik melalui benda kerja, tekanan diakibatkan oleh tekanan elektroda (Jeffus, 2012).



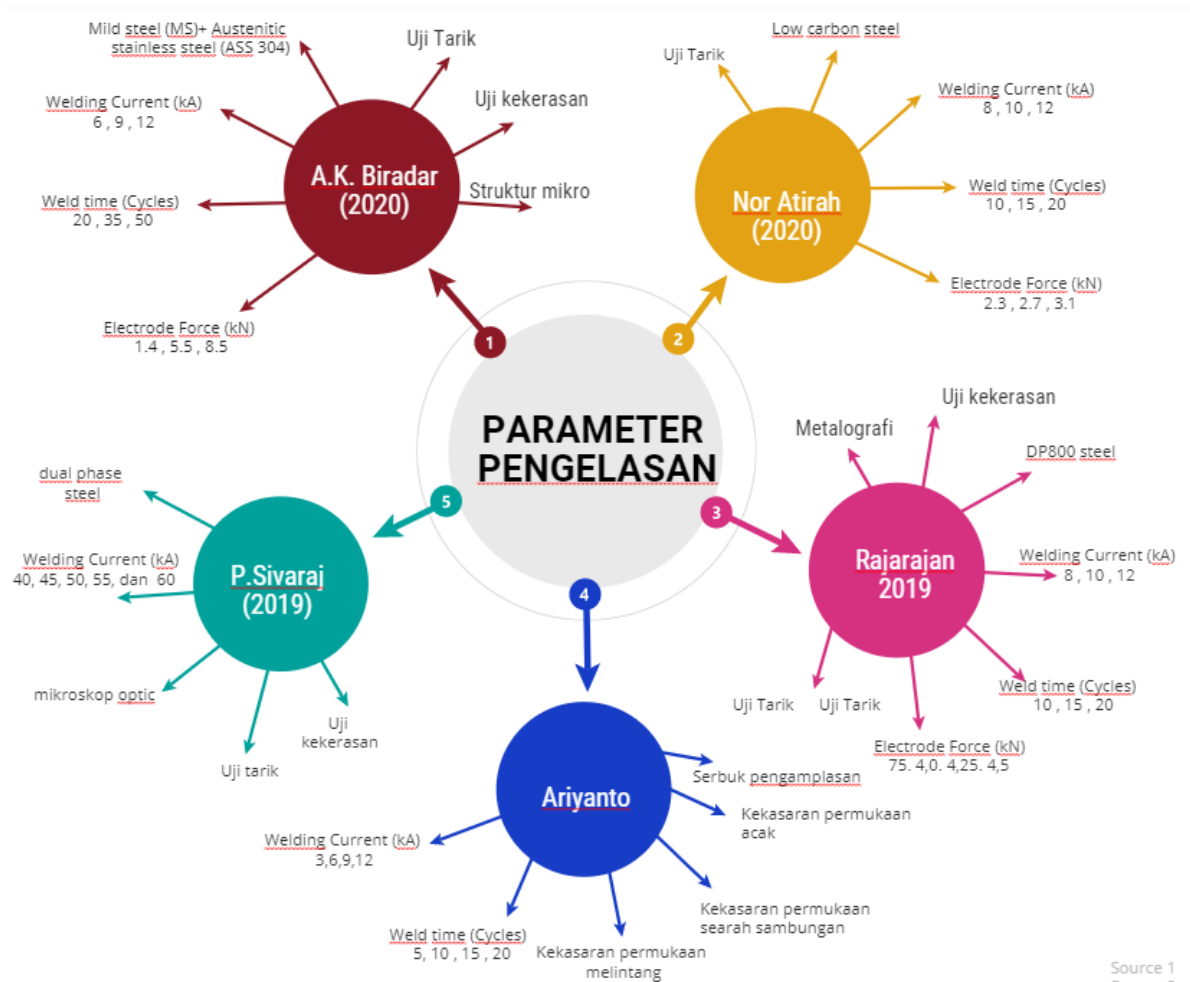
Gambar 2.1 Prinsip Pengelasan Resistance Spot Welding

(Bohnart, 2018)

Pada gambar 2.1 terlihat proses pengelasan *resistance spot welding* antara dua buah material yang akan disambung ditekan bersama diantara dua buah elektroda, bersama dengan tekanan dialirkan arus listrik berdensitas tinggi, sehingga menimbulkan panas yang mencairkan kedua material tersebut.

2.1.2 Parameter Pengelasan *Resistance Spot Welding (RSW)*

Pada pengelasan *resistance spot welding* kualitas sambungan las di tentukan oleh parameter pengelasan (Shafee et al., 2015). Beberapa parameter pengelasan spot welding antara lain: tekanan elektroda, arus pengelasan dan waktu pengelasan (Raut & Achwal, 2014). Untuk mendapatkan kualitas pengelasan, mengurangi konsumsi utilitas dan penggunaan bahan, tantangannya adalah bagaimana mendapatkan parameter pengelasan yang optimal. Salah satu metode adalah taguchi method, taguchi method adalah pendekatan statistic yang dikembangkan oleh DR. Genichi Taguchi, yang banyak dirujuk sebagai rekayasa kualitas di jepang (Aizuddin et al., 2016). (Muhammad et al., 2012) dan (N. K. Singh & Vijayakumar, 2012) juga menggunakan optimasi parameter pengelasan dengan taguchi method. Pada gambar 2.2 dapat dilihat mind map penelitian parameter pengelasan

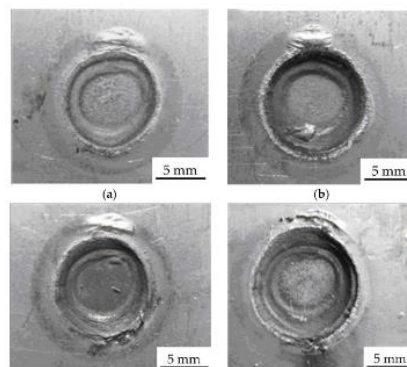


Source 1

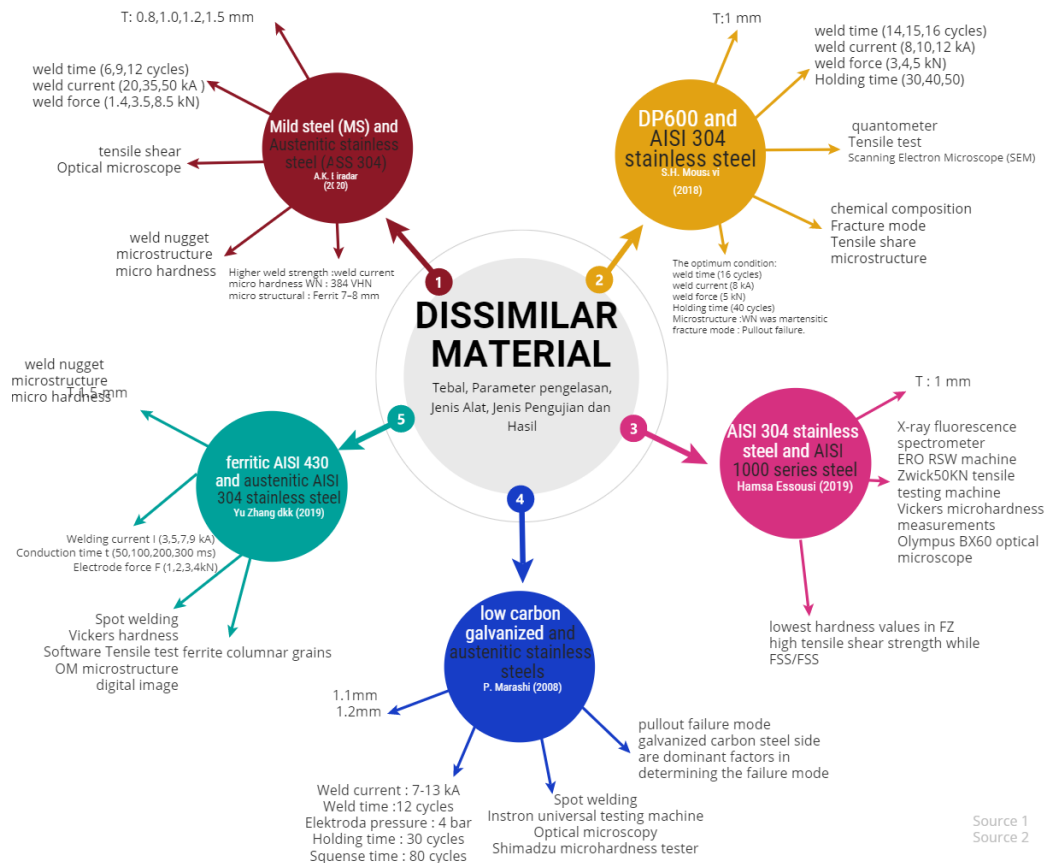
Gambar 2.2. Mind Map Parameter Pengelasan RSW

2.1.3 Pengelasan *Resistance Spot Welding (RSW) Dissimilar Material*

Kajian tentang penelitian *dissimilar material* sangat menarik saat ini, ada beberapa peneliti yang telah mengkaji tentang penelitian *dissimilar material* diantaranya : Vigneshkumar et al., (2019) melakukan studi dengan membuat tiga dimensi finite element berdasarkan model numerik untuk *Resistance Spot Welding* dari sambungan *dissimilar* lembaran *austenitic stainless steel* (AISI 304 / 316L) dengan sifat material yang bergantung pada suhu dan studi efek parameter proses pengelasan, seperti arus pengelasan dan waktu pengelasan. Metode pengujian yang digunakan yaitu pengujian tarik geser, software abaqus pada diameter nugget dan mikrostruktural untuk menganalisis kekuatan las titik, model yang dihasilkan divalidasi dengan membandingkan diameter nugget yang disimulasi dengan diameter nugget secara eksperimen. Hasil penelitian menunjukkan hubungan yang baik antara hasil simulasi dan eksperimen serta makrostruktural sambungan las titik mengindikasikan kesuksesan pengelasan sambungan berbeda, dengan tidak ada cacat pada sona fusi. X. Zhang et al., (2018) dalam studinya menggunakan material baja fasa ganda galvanis CR590T/340YDP dengan menggunakan las resistance spot welding, mempelajari secara detail pengaruh arus pengelasan terhadap formasi las, struktur mikro dan sifat mekanik. Dalam studinya menemukan bahwa kualitas tampilan las menurun dengan meningkatnya arus pengelasan, dan terdapat lapisan Zn pada permukaan las. Struktur mikro dari sambungan las tidak homogen, daerah nugget terdiri dari martensit bubut kasar dan sedikit ferrit dengan morfologi kristal kolumner, dan mikrostruktur nugget las kasar saat arus pengelasan semakin tinggi. Pada gambar 2.3 terlihat foto tampilan variasi arus pengelasan dimana terlihat bahwa ada perbedaan kontur permukaan yang dikenahi elektroda.



Gambar 2.3 Arus Las (A)^(c)8.5 kA; (B) 10 kA; (C) 11 kA; (D) 12 kA



Gambar 2.4 Mind Map Resistance Spot Welding Dissimilar Material

2.1.4 Pengujian Sambungan Las

Ada beberapa metode yang dilakukan untuk menganalisa hasil pengelasan yaitu kontur permukaan, mode kegagalan, struktur mikro seperti yang dilakukan oleh Rajarajan dkk (2019) dengan dimensi material; ASTM D1002-01 kekuatan geser sambungan diperiksa dengan mesin uji tarik, dengan mikrostruktur pada potongan melintang hasil las, dengan beberapa polished yaitu : polished spesimen dengan silicon carbide, polished diamond paste dan polished alumina powder adapun etched 20 ml ethanol dan 1 ml Hcl dan mikroskop 10-50x. Sulaiman et al., (2021). Menggunakan profilometer kekasaran bersentuhan dengan permukaan dalam beberapa detik dan menunjukkan nilai kekasaran dalam nilai rata-rata kekasaran (Ra) dalam μm atau kedalaman kekasaran (Rz). Mitutoyo SJ-301 akan digunakan untuk mengukur nilai rata-rata kekasaran permukaan (Ra) dari material benda kerja sub-surface machined setelah didapatkan nilai tool wear $0.2 \mu\text{m}$.

Biradar & Dabade, (2020) dengan analisis ke kuatan las dan nugget dalam mengukur nilai kekasaran permukaan pada permesinan permukaan



Gambar 2.5 Profilometer Kekasaran Permukaan Mitutoyo SJ-310

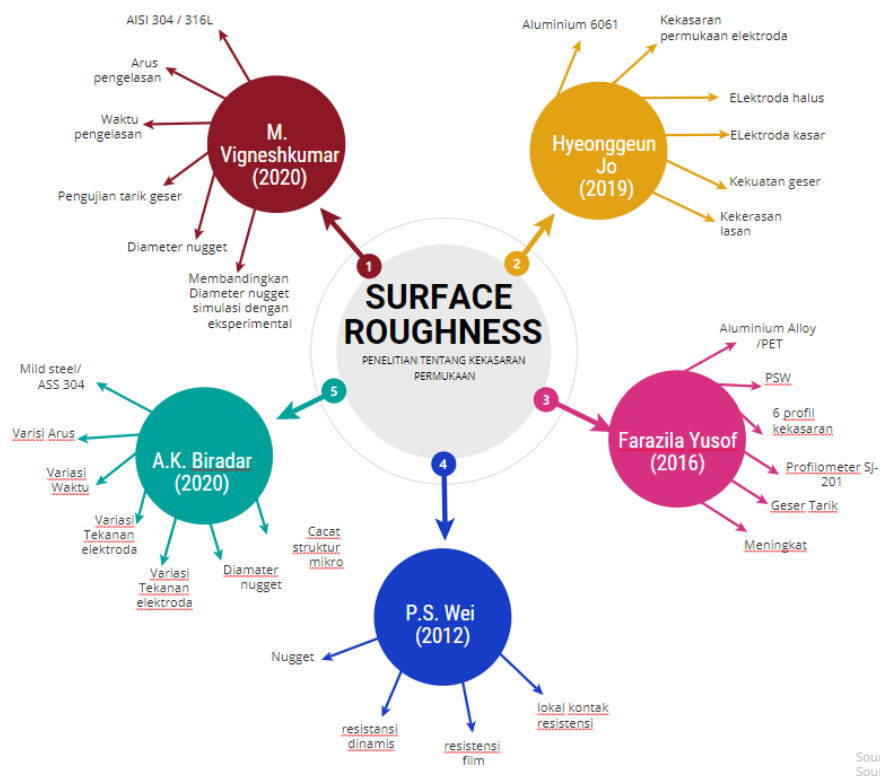
2.1.5 *Gwyddion Open Source Software*

Gwyddion adalah perangkat lunak *multiplatform open source* yang bisa digunakan menganalisa data SPM (*scanning probe microscopy*) (Yadhuraj et al., 2016). beberapa aplikasi umum seperti deteksi tepi, tampilan data 3D, leveling bidang, kekasaran pengukuran dan koreksi cacat gambar. Fungsi khusus seperti pemrosesan data dari area non persegi panjang, analisa butir dan partikel (Klapetek et al., 2009). Pada penelitian yang akan dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan pengaruh kekasaran permukaan daerah kontak pengelasan di gunakan software *gwyddion*. Software ini juga telah digunakan Stoever et al., (2020) untuk meneliti resistivitas listrik NbO₂ dengan menganalisa morfologi permukaan, ukuran butir rata-rata. Software ini juga digunakan mengevaluasi pengukuran mikroskop gaya partikel kecil teratur dan tidak teratur oleh Sperka et al., (2017)

2.1.6 Kekasaran Permukaan

Ada beberapa studi ke kasaran permukaan yang telah dilakukan oleh peneliti antara lain sebagai berikut : A.K. Biradar & B.M. Dabade menemukan kekuatan las yang lebih tinggi, pada arus las yang lebih tinggi, waktu las yang lebih tinggi, dan gaya elektroda las yang lebih rendah. Kekerasan mikro dalam nugget las ditemukan sebesar 384 VHN, sedangkan kekerasan sisi MS kurang dari 106 VHN dibandingkan dengan sisi ASS. Cacat las diamati di sepanjang garis

antar muka nugget sisi MS. Analisis struktur mikro pada nugget las menunjukkan adanya ferit halus dengan ukuran butir 7-8 mm dan perlit. Wilayah HAZ mengkonfirmasi adanya pita putus perlit tanpa pertumbuhan ukuran butir yang teramati. Haghshenas & Moshayedi, (2020) dalam studi yang mereka lakukan, algoritma desain baru digunakan untuk memproses video yang direkam dengan kamera kecepatan tinggi dari proses pengelasan titik resistansi, untuk menentukan perpindahan elektroda (DE). Diketahui bahwa diagram DE dapat memberikan informasi yang sesuai tentang kejadian yang sedang berlangsung selama proses pengelasan titik resistansi dan memberikan alat yang sesuai untuk memantau dan mengendalikan RSW. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus dan waktu memiliki kecenderungan yang sama di DE, tekanan yang lebih tinggi akan mengakibatkan pematatan diagram. Disimpulkan juga bahwa shunt dan kontaminasi memiliki efek yang cukup besar pada diagram perpindahan dan kekuatan las. Menggunakan penahan sebagai kendala eksternal dapat meningkatkan kekuatan las sekitar 12%. Adapun maind map studi kekasaran permukaan seperti terlihat pada gambar 2.11.

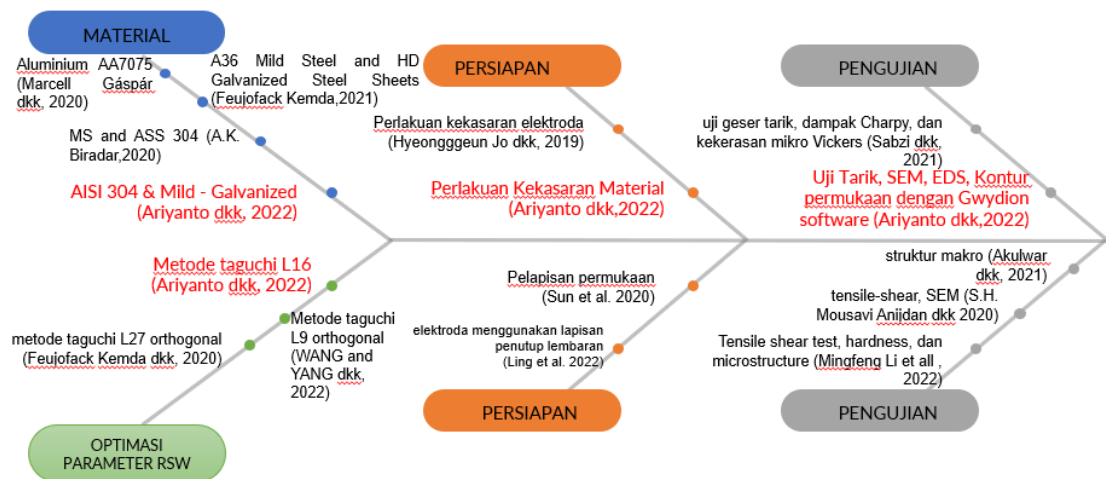


Gambar 2.6 Mind Map Dissimilar Material Dengan Pengaruh Kekasaran

2.1.7 Kerangka Pemikiran Penelitian

Pada gambar 11 terlihat kerangka pemikiran atau alur logika penelitian yang terdiri dari jenis material, persiapan material, parameter pengelasan, pengujian kualitas sambungan las dan metode peneliti ke kasaran permukaan yang pernah dilakukan.

STATE OF THE ART



Gambar 2.8 Kerangka Pemikiran Penelitian

2.2 Hipotesis Penelitian

Perlakuan kekasaran permukaan sebelum proses pengelasan, akan mempengaruhi; kekuatan tarik geser, kontur permukaan, cacat yang terjadi pada daerah sambungan pengelasan baik untuk sambungan similar AISI 304 Stainless steel, maupun sambungan dissimilar antara mild steel dengan galvanized steel.

Semakin rendah nilai kekasaran maka resistensi listrik yang terjadi semakin besar, menyebabkan terjadinya panas yang mengakibatkan daerah pengelasan meleleh dengan sempurna, sehingga nugget yang terbentuk menjadi besar dan mengakibatkan kekuatan tarik geser meningkat .