



TUGAS AKHIR - MN141581

PENGARUH KEDALAMAN *DISCONTINUITAS SUB-SURFACE* TERHADAP EFEKTIVITAS PENDETEKSIAN DENGAN METODE *MAGNETIC PARTICLE TEST* MENGGUNAKAN PROD PADA LOGAM *HIGH MAGNETIC PERMEABILITY* DI KAPAL

MOCH. DARUL SALAM MAHADI
NRP. 4112 100 084

Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, ST, M.Eng.
Dony Setyawan, ST, M.Eng.

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



FINAL PROJECT - MN141581

**THE EFFECT OF SUB-SURFACE DISCONTINUITIES
DEPTH ON THE EFFECTIVENESS OF DETECTION USING
MAGNETIC PARTICLE TEST METHOD WITH PROD ON
HIGH MAGNETIC PERMEABILITY MATERIALS ON SHIP**

MOCH. DARUL SALAM MAHADI
NRP. 4112 100 084

Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, ST, M.Eng.
Dony Setyawan, ST, M.Eng.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2016

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH KEDALAMAN *DISCONTINUITAS SUB-SURFACE* TERHADAP EFEKTIVITAS PENDETEKSIAN DENGAN METODE *MAGNETIC PARTICLE TEST* MENGGUNAKAN PROD PADA LOGAM *HIGH MAGNETIC PERMEABILITY* DI KAPAL

TUGAS AKHIR

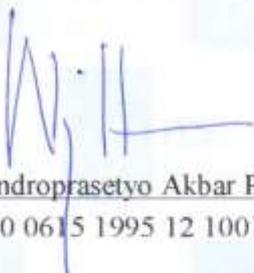
Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi Kapal
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MOCH. DARUL SALAM MAHADI
NRP. 4112 100 084

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing I



Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, ST, M.Eng.
NIP. 1970 0615 1995 12 1001



Dosen Pembimbing II



Dony Setiawan, ST, M.Eng.
NIP. 19750320 199903 1 001

SURABAYA, 28 JUNI 2016

PENGARUH KEDALAMAN *DISCONTINUITAS SUB SURFACE* TERHADAP EFEKTIVITAS PENDETEKSIAN DENGAN METODE *MAGNETIC PARTICLE TEST* MENGGUNAKAN PROD PADA LOGAM *HIGH MAGNETIC PERMEABILITY* DI KAPAL

Nama Mahasiswa : Moch. Darul Salam Mahadi
NRP : 4112 100 084
Jurusan / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : 1. Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, ST, M.Eng.
2. Dony Setyawan, ST, M.Eng.

ABSTRAK

Untuk mendeteksi adanya kerusakan atau cacat pada suatu material maka langkah yang dilakukan adalah dengan melakukan pengujian tidak merusak (*Non Destructive Test* - NDT). Salah satu metode pengujian tidak merusak (NDT) yang sampai saat ini masih efisien dipakai adalah metode “*Magnetic Particle Test* (MPT) “. Pengujian ini dimaksudkan untuk mendeteksi adanya cacat atau kerusakan terutama kerusakan yang berada dibawah permukaan suatu material (*discontinuitas sub-surface*). Dalam tugas akhir ini akan diteliti pengaruh kedalaman *discontinuitas sub-surface* terhadap efektivitas pendeteksian menggunakan metode *Magnetic Particle Test* khususnya pada logam yang memiliki *high magnetic permeability* di kapal. Pada penelitian ini dilakukan pengujian pada baja A36 yang telah diberikan cacat buatan dengan kedalaman yang bervariasi. Variasi kedalaman dari permukaan yang dibuat adalah 1 mm, 1.5 mm, 2 mm, 2.5 mm, 3 mm, 3.5 mm, 4 mm, 4.5 mm, 5 mm, 5.5 mm, 6 mm dan 6.5 mm. Kemudian dilakukan pengujian MPT pada sisi bagian luarnya dengan *Dry Methode* dan *Wet Methode* menggunakan partikel *visible* dan partikel *fluorescent* pada arus AC memakai Prod.

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa foto makro diketahui bahwa pengujian dengan metode kering, arus AC dengan partikel visibel dan flourescent kedalaman diskontinuitas maksimum yang masih dapat terlihat adalah 1 mm dari permukaan. Dengan menggunakan metode basah, arus AC dengan partikel visibel kedalaman maksimal yang masih dapat terlihat adalah 1.5 mm. Sedangkan dengan menggunakan partikel flourescent, arus AC kedalaman maksimal adalah 2 mm. Secara umum partikel basah menunjukkan sensitivitas yang lebih baik daripada partikel kering.

Kata kunci : *non destructive test, magnetic particle test, visible magnetic particle, flourescent magnetic particle, dry method, wet method, prod, yoke*

THE EFFECT OF SUB-SURFACE DISCONTINUITIES DEPTH ON THE EFFECTIVENESS OF DETECTION USING MAGNETIC PARTICLE TEST METHOD WITH PROD ON HIGH MAGNETIC PERMEABILITY MATERIALS ON SHIP

Author : Moch. Darul Salam Mahadi
ID No. : 4112 100 084
Dept. / Faculty : Naval Architecture & Shipbuilding Engineering / Marine Technology
Supervisors : 1. Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, ST, M.Eng.
2. Dony Setyawan, ST, M.Eng.

ABSTRACT

Non Destructive testing (NDT) is a method to detect any defect in a material. One of the nondestructive test method is Magnetic Particle Test (MPT). MPT is used to detect any discontinuities, especially that are located below the surface of the material which are known as sub-surface discontinuities. The purpose of the final project is to examine the detectability of sub-surface defect that related to the effectiveness of the MPT method on a high magnetic permeability material. Using A 36 steel with artificial sub-surface defect that were located 1 mm, 1.5 mm, 2 mm, 2.5 mm, 3 mm, 3.5 mm, 4 mm, 4.5 mm, 5 mm, 5.5 mm, 6 mm, and 6.5 mm below the surface, this research explored the ability of MPT to detect the defects using visible and flourescent particles, dry and wet methods using AC current with prods.

According to the test results and pothographics analysis, it was known that dry visible and flourescent particle combined with AC gave clear indication of detect located 1 mm below surface. Using wet visible particle with AC, the maximum depth which can be detected was 1.5 mm. Switching the particle into wet flourescent gave maximum indicator of 2 mm below the surface. In general, the wet particles showed better sensitivity than dry particles.

Keywords: *non destructive test, magnetic particle test, visible magnetic particle, flourescent magnetic particle, dry method, wet method, prod, yoke*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR SIMBOL	xv
Bab I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang Masalah.....	1
I.2. Perumusan Masalah	2
I.3. Batasan Masalah	2
I.4. Tujuan	3
I.5. Manfaat	3
I.6. Hipotesis.....	3
I.7. Sistematika Penulisan	4
Bab II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
II.1. Magnet	5
II.1.1. Teori Magnet	5
II.1.2. Medan Vektor.....	13
II.1.3. Klasifikasi Material Magnetis	13
II.1.3.1. Diamagnetik	15
II.1.3.2. Paramagnetik	16
II.1.3.3. Feromagnetik.....	16
II.1.4. Kurva Histerisis	17
II.1.4.1. Karakteristik Kurva Histeresis	19
II.1.5. Klasifikasi Magnet.....	21
II.1.5.1. Magnet Permanen	21
II.1.5.2. Magnet Listrik	22
II.1.6. Sifat Kemagnetan Suatu Bahan	22
II.2. Pengujian Magnet	23
II.2.1. Prinsip Pengujian Magnet	23
II.2.2. Pembangkitan Medan Magnet.....	24
II.2.3. Kaidah Tangan Kanan dan Kaidah Tangan Kiri	24
II.2.4. Circular magnetization	25
II.2.4.1. Induksi Langsung (Direct induction)	25
II.2.4.2. Induksi Langsung dengan Prods.....	26
II.2.4.3. Induksi Tidak Langsung (Indirect Induction)	27
II.2.5. Longitudinal Magnetization	28
II.2.5.1. Coil/solenoid (kumparan).....	28

II.2.5.2.	Yoke.....	28
II.2.6.	Arus Listrik untuk Magnetisasi	29
II.2.6.1.	Arus Bolak-balik (Alternating Current – AC).....	30
II.2.6.2.	Arus Searah (Dirrect Current – DC).....	30
II.2.7.	Karakteristik Penembusan.....	32
II.2.8.	Partikel Magnetik.....	33
II.2.8.1.	Partikel Kering.....	33
II.2.8.2.	Partikel Basah.....	34
II.2.8.3.	Partikel Fluorescent	34
II.2.8.4.	Partikel Visible	35
II.3.	Pengujian Magnetisasi Yoke pada Tugas Akhir Sebelumnya.....	35
Bab III METODOLOGI PENELITIAN		37
III.1.	Prosedur Pelaksanaan Pengujian	37
III.2.	Peralatan Penelitian.....	42
III.2.1.	Peralatan dan Bahan Pengujian	42
III.3.	Bahan Penelitian	49
III.3.1.	Material Uji	49
III.3.2.	Partikel untuk Metode Kering (Dry Methode)	50
III.3.3.	Partikel untuk Metode Basah (Wet Methode).....	52
Bab IV HASIL DAN PEMBAHASAN		55
IV.1.	Pengujian Magnetik Metode Kering	55
IV.1.1.	Dry Methode, AC, Partikel Visibel	55
IV.1.2.	Dry Methode, AC, Partikel Fluorescent.....	63
IV.2.	Pengujian Magnetik Metode Basah	70
IV.2.1.	Wet Methode, AC, Partikel Visibel	70
IV.2.2.	Wet Methode, AC, Partikel Fluorescent	76
IV.3.	Tabel Hasil Dan Pembahasan Pengujian Prod Dan Yoke.....	83
Bab V KESIMPULAN DAN SARAN		87
V.1.	Kesimpulan.....	87
V.2.	Saran	88
DAFTAR PUSTAKA.....		89
BIODATA PENULIS		

DAFTAR TABEL

Tabel II 1. Suseptibilitas berbagai bahan pada suhu kamar. [Reits, 1993]	11
Tabel II 2. Sifat bahan feromagnet pada suhu ruang [Reits, 1993]	12
Tabel II 3. Karakteristik arus pada prod. [ASME,2015]	27
Tabel III 1. Variasi kedalam discontinuitas.....	50
Tabel IV 1 Penembusan kedalaman discontinuitas pada magnetisasi prod arus AC.	83
Tabel IV 2 Penembusan kedalaman discontinuitas pada magnetisasi Yoke arus AC.	84
Tabel IV 3 Tabel penembusan kedalaman discontinuitas pada magnetisasi Yoke arus DC....	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1. Indikasi kebocoran medan magnet. [www.nde-ed.org,2014]	1
Gambar II.1. Benda non magnetik. [www.nde-ed.org,2014].....	5
Gambar II.2. Magnetik. [www.nde-ed.org,2014].....	6
Gambar II.3. Benda Non Magnet. [www.nde-ed.org,2014].....	6
Gambar II.4. Benda Magnet. [www.nde-ed.org,2014]	6
Gambar II.5. Gaya yang terjadi pada kutub magnet yang didekatkan. [www.nde-ed.org,2014]	7
Gambar II.6. Pembentukan kutub baru pada potongan magnet batang. [www.nde-ed.org,2014]	8
Gambar II.7. Garis-garis medan magnet. [Betz,2000].....	9
Gambar II.8. Medan vector. [www.nde-ed.org,2014]	13
Gambar II.9. Tabel periodic unsure, menunjukkan sifat magnet unsur-unsur pada temperatur kamar. [Cullity, 1972].....	14
Gambar II.10. Kurva Histerisis. [www.nde-ed.org,2014].....	17
Gambar II.11. Kurva histerisis bentuk "wide loop".(Smilie,2000)	19
Gambar II.12. Kurva histerisis bentuk "slender loop".(Smilie,2000).....	20
Gambar II.13. Berbagai bentuk magnet permanen. [www.nde-ed.org,2014].....	22
Gambar II.14. Indikasi diskontinuitas pada material.	24
Gambar II.15. Kaidah tangan kanan.	25
Gambar II.16. Circular magnetization dengan induksi langsung. [www.nde-ed.org,2014]	26
Gambar II.17. Circular magnetization dengan prods. [www.nde-ed.org,2014].....	26
Gambar II.18. Central Conductor. [www.nde-ed.org,2014]	28
Gambar II.19. Longitudinal magnetization dengan menggunakan yoke. [www.nde- ed.org,2014].....	29
Gambar II.20. Waveform arus AC. [www.nde-ed.org,2014].....	30
Gambar II.21. Waveform arus DC. [www.nde-ed.org,2014].....	31
Gambar II.22. Half wave direct current (HWDC). [www.nde-ed.org,2014].....	31
Gambar II.23. Full wave direct current (FWDC). [www.nde-ed.org,2014]	31
Gambar II.24. Full wave three phase. [www.nde-ed.org,2014]	32
Gambar II.25. Kemampuan arus untuk magnetisasi. [www.nde-ed.org,2014].....	32
Gambar III.1 Diagram alir pengujian.	37
Gambar III.2 Diagram urutan proses pengujian.	38
Gambar III.3. Mesin gergaji.	42
Gambar III.4. Mesin wire cut.	43
Gambar III.5. Mesin gerinda.	44
Gambar III.6. Penjepit (klem).....	44
Gambar III.7. Jangka sorong.	45
Gambar III.8. Mistar ukur.	45
Gambar III.9. Lampu TL.	46
Gambar III.10. Light meter.	46
Gambar III.11. Prod.	47
Gambar III.12. Kamera digital.	47
Gambar III.13. Lampu ultraviolet (UV light).....	48
Gambar III.14. UV light meter.	48

Gambar III.15. Spesimen uji.	49
Gambar III.16. Serbuk magnetik artikel visibel.	51
Gambar III.17. White contrast paint (WCP).	51
Gambar III.18. Serbuk magnetik partikel fluorescent.....	52
Gambar III.19. Larutan wet visible.....	53
Gambar III.20. Wet fluorescent.	53
Gambar IV.1. Hasil pengujian untuk dry visibel t=1.0 mm.	56
Gambar IV.2. Hasil pengujian untuk dry visibel t=1.5 mm.	56
Gambar IV.3. Hasil pengujian untuk dry visibel t=2.0 mm.	57
Gambar IV.4. Hasil pengujian untuk dry visibel t=2.5 mm.	57
Gambar IV.5. Hasil pengujian untuk dry visibel t=3.0 mm.	58
Gambar IV.6. Hasil pengujian untuk dry visibel t=3.5 mm.	59
Gambar IV.7. Hasil pengujian untuk dry visibel t=4.0 mm.	59
Gambar IV.8. Hasil pengujian untuk dry visibel t=4.5 mm.	60
Gambar IV.9. Hasil pengujian untuk dry visibel t=5.0 mm.	60
Gambar IV.10. Hasil pengujian untuk dry visibel t=5.5 mm.	61
Gambar IV.11. Hasil pengujian untuk dry visibel t=6.0 mm.	62
Gambar IV.12. Hasil pengujian untuk dry visibel t=6.5 mm.	62
Gambar IV.13. Hasil pengujian untuk dry fluorescent t=1.0 mm.	63
Gambar IV.14. Hasil pengujian untuk dry fluorescent t=1.5 mm.	64
Gambar IV.15. Hasil pengujian untuk dry fluorescent t=2.0 mm.	64
Gambar IV.16. Hasil pengujian untuk dry fluorescent t=2.5 mm.	65
Gambar IV.17. Hasil pengujian untuk dry fluorescent t=3.0 mm.	65
Gambar IV.18. Hasil pengujian untuk dry fluorescent t=3.5 mm.	66
Gambar IV.19. Hasil pengujian untuk dry fluorescent t=4.0 mm.	67
Gambar IV.20. Hasil pengujian untuk dry fluorescent t=4.5 mm.	67
Gambar IV.21. Hasil pengujian untuk dry fluorescent t=5.0 mm.	68
Gambar IV.22. Hasil pengujian untuk dry fluorescent t=5.5 mm.	68
Gambar IV.23. Hasil pengujian untuk dry fluorescent t=6.0 mm.	69
Gambar IV.24. Hasil pengujian untuk dry fluorescent t=6.5 mm.	69
Gambar IV.25. Hasil pengujian untuk wet visibel t=1.0 mm.	70
Gambar IV.26. Hasil pengujian untuk wet visibel t=1.5 mm.	71
Gambar IV.27. Hasil pengujian untuk wet visibel t=2.0 mm.	71
Gambar IV.28. Hasil pengujian untuk wet visibel t=2.5 mm.	72
Gambar IV.29. Hasil pengujian untuk wet visibel t=3.0 mm.	72
Gambar IV.30. Hasil pengujian untuk wet visibel t=3.5 mm.	73
Gambar IV.31. Hasil pengujian untuk wet visibel t=4.0 mm.	73
Gambar IV.32. Hasil pengujian untuk wet visibel t=4.5 mm.	74
Gambar IV.33. Hasil pengujian untuk wet visibel t=5.0 mm.	74
Gambar IV.34. Hasil pengujian untuk wet visibel t=5.5 mm.	75
Gambar IV.35. Hasil pengujian untuk wet visibel t=6.0 mm.	75
Gambar IV.36. Hasil pengujian untuk wet visibel t=6.5 mm.	76
Gambar IV.37. Hasil pengujian untuk wet fluorescent t=1.0 mm.	76
Gambar IV.38. Hasil pengujian untuk wet fluorescent t=1.5 mm.	77
Gambar IV.39. Hasil pengujian untuk wet fluorescent t=2.0 mm.	78
Gambar IV.40. Hasil pengujian untuk wet fluorescent t=2.5 mm.	78
Gambar IV.41. Hasil pengujian untuk wet fluorescent t=3.0 mm.	79
Gambar IV.42. Hasil pengujian untuk wet fluorescent t=3.5 mm.	79
Gambar IV.43. Hasil pengujian untuk wet fluorescent t=4.0 mm.	80

Gambar IV.44. Hasil pengujian untuk wet fluorescent t=4.5 mm.	80
Gambar IV.45. Hasil pengujian untuk wet fluorescent t=5.0 mm.	81
Gambar IV.46. Hasil pengujian untuk wet fluorescent t=5.5 mm.	81
Gambar IV.47. Hasil pengujian untuk wet fluorescent t=6.0 mm.	82
Gambar IV.48. Hasil pengujian untuk wet fluorescent t=6.5 mm.	82

DAFTAR SIMBOL

B = kerapatan *flux* (Tesla) atau (Wb/m^2).

M = momen magnetik / magnetisasi bahan

H = gaya magnet (A/m)

μ = permeabilitas bahan

μ_0 = permeabilitas ruang hampa ($4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m}/\text{A}$)

χ_m = suseptibilitas bahan

M_S = pemagnetan jenuh.

H_S = intensitas magnet yang diperlukan untuk mencapai kejenuhan.

H_C = koersifitas.

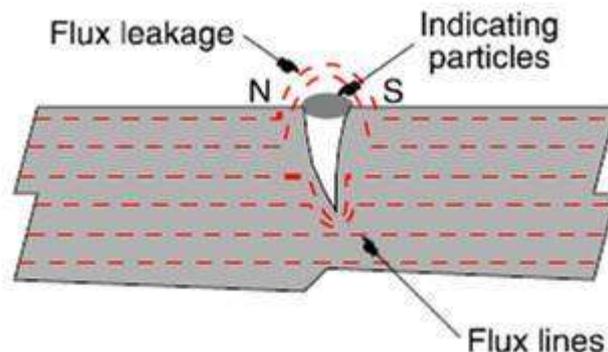
B_r = *remanens*

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Di dalam suatu konstruksi terutama pada konstruksi yang dilakukan proses pengelasan (*welding*), sering sekali terjadi ketidaksempurnaan dalam proses penyambungan, seperti retak/*crack*. Keretakan pada suatu konstruksi apabila tidak secepatnya dilakukan suatu tindakan atau proses reparasi/perbaikan, maka pada area tersebut akan dapat menimbulkan suatu perluasan keretakan yang dapat menyebabkan patah sehingga merugikan. Seperti halnya pada pembahasan ini akan membahas mengenai pendeteksian retak bawah permukaan (*sub-surface*) pada plat di kapal, di mana sering kali tanpa disadari akibat adanya penerimaan beban secara terus menerus serta menerima beban yang berlebihan, sehingga pada plat kapal khususnya pada material baja SS 41 akan mengalami kelelahan serta konsentrasi tegangan yang begitu besar, maka ini rentan sekali terjadinya retak. Untuk itu dalam hal mendeteksi retak yang terjadi pada sambungan las dapat dilakukan dengan menggunakan *magnetic particle test* (MPT).



Gambar I.1. Indikasi kebocoran medan magnet.[www.nde-ed.org,2014]

Prinsip dari pengujian ini adalah memagnetisasi bahan yang akan diuji dengan cara mengubah aliran listrik menjadi medan magnet, sehingga diketahui cacat permukaan (*sub-surface*) yang terjadi pada suatu material dengan adanya kebocoran medan magnet. Kebocoran medan magnet akan dapat diketahui ketika adanya cacat material yang tegak lurus terhadap arah medan magnet. Kebocoran medan magnet ini mengindikasikan adanya cacat pada material

tersebut. Pada tugas akhir ini cara membangkitkan medan magnet menggunakan Prod, dengan hasil yang didapat sehingga di simpulkan berapakah kedalaman maksimum yang dapat di uji oleh MPT dengan dua variabel partikel yaitu : *Visible magnetic* dan *Flourescent magnetic* melalui dua cara perlakuan pengetesan yaitu : *Dry method* dan *Wet method* sehingga dihasilkan partikel dan cara perlakuan manakah yang terbaik.

Pada saat ini sudah tidak banyak pengujian MPT dengan magnetisasi Prods, dikarenakan peralatan yang tidak mudah dibawa dan sulit perlakuan pengujian. Tetapi didalam segi pendeteksian magnetisasi prod belum pernah dibandingkan dengan AC yoke untuk itu di dalam tugas akhir ini juga membahas tentang perbandingan efektifitas penggunaan dan pendeteksian cacat *sub-surface* dengan medan magnet Prod dengan AC Yoke sehingga akhirnya dapat diambil kesimpulan kelebihan dan kekurangan penggunaan medan magnet Prod dan AC Yoke dalam pendeteksian kebocoran medan magnet *sub-surface*.

I.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, beberapa permasalahan yang akan diselesaikan adalah sebagai berikut :

- Bagaimana kedalaman maksimal discontinuitas sub-surface yang dapat dideteksi dengan metode MPT menggunakan partikel *dry* dan *wet* baik *visible* maupun *fluorescent* dengan pembangkit medan magnet menggunakan Prod ?
- Bagaimana pengaruh jenis partikel dan metodenya untuk mendapatkan hasil yang paling efektif dalam pendeteksian discontinuitas sub-surface pada suatu material ?
- Bagaimana pengaruh dari magnetisasi Prod dan AC Yoke agar didapat efektifitas pendeteksian sub-surface yang maksimum ?

I.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

- Pengujian yang dilakukan adalah pengujian magnetic dengan menggunakan alat prod dengan *dry method* dan *wet method* baik *visible* maupun *fluorescent*.
- Material yang digunakan adalah baja SS 41 (ekuivalen A36) yang merupakan salah satu jenis logam *high magnetic permeability*.
- Spesimen yang digunakan adalah tipe bar standard dengan panjang 300 mm dan lebar 100 mm da tebal 12 mm.

- Discontinuitas buatan mempunyai kedalaman yang bervariasi dengan kedalaman antara lain : 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm, 2.5 mm, 3.0 mm, 3.5 mm, 4.0 mm, 4.5 mm, 5.0 mm, 5.5 mm, 6.0 mm, 6.5 mm di bawah permukaan.
- Arah cacat buatan adalah tegak lurus arah medan magnet dan selebar material (*specimen*).

I.4. Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini adalah :

- Untuk menganalisis kedalaman maksimum *sub-surface* yang dapat dideteksi oleh MPT dengan menggunakan Prod pada logam *high magnetic permeability*.
- Untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan partikel *visible* dan *fluorescent* pada prod agar didapat efektivitas pendeteksian *sub-surface* yang maksimum.
- Untuk membandingkan pengaruh dari magnetisasi Prod dan AC Yoke agar didapat efektivitas pendeteksian *sub-surface* yang maksimum.

I.5. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari tugas akhir ini adalah:

- Untuk memberikan pemahaman mengenai perbandingan kedalaman dari pengujian MPT dengan magnetisasi Prod dan AC Yoke, serta menggunakan partikel *visible* dan *fluorescent* dengan metode pengujian basah dan kering sehingga didapatkan efektivitas pendeteksian maksimum dan kedalaman maksimal yang mampu dideteksi.

I.6. Hipotesis

- Dugaan awal dari tugas akhir ini adalah efektivitas pendeteksian dengan metode magnetik partikel akan menurun seiring bertambahnya kedalaman dari retakan dan metode MPT yang paling efektif digunakan untuk mendeteksi *discontinuitas sub-surface* adalah metode kering dan menggunakan partikel *visibel*.

I.7. Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini disusun berdasarkan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Berisikan konsep dasar penyusunan tugas akhir yang meliputi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi penelitian, sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan teori yang akan digunakan dalam penyelesaian masalah pada pengerjaan tugas akhir.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Berisi kegiatan yang dilakukan selama proses penelitian.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil-hasil yang diperoleh dari pengujian material, analisa dan evaluasi, berdasarkan teori yang dipakai sebagai acuan dari penulisan tugas akhir ini.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berisikan dari hasil analisa dan evaluasi yang didapat dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut yang berkaitan dengan materi yang terdapat dalam tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Magnet

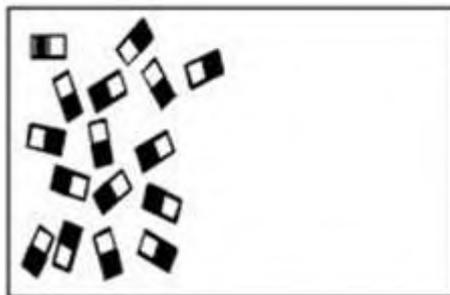
Sebuah magnet adalah material yang memiliki kemampuan menarik besi atau baja (dan material logam lain). Magnet sudah dikenal sejak 600 SM dengan pengenalan suatu zat yang dapat menarik magnet, dan zat tersebut akhirnya dikenal sebagai magnet, yang berbentuk sebagai zat padat. Para ahli membagi dua bagian terhadap benda yang berhubungan dengan magnet, yaitu benda magnet dan non magnet, kemudian benda magnet ini juga dibagi menjadi dua yaitu:

1. Magnet yang bersifat alami disebut magnet alam.
2. Magnet yang dapat dibuat disebut magnet buatan.

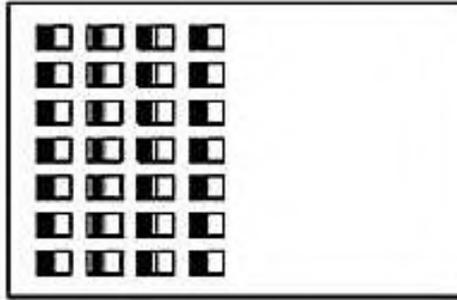
Kekuatan magnet alam didalam penggunaan teknologi dirasa masih kurang kuat jika dibanding dengan magnet buatan, sehingga jarang ditemui penggunaan magnet alam dalam penggunaan teknologi. Menurut teori, molekul-molekul substansi magnetik dipandang sebagai magnet-magnet kecil yang masing-masing memiliki sebuah kutub utara dan selatan. [www.nde-ed.org,2014]

II.1.1. Teori Magnet

Menurut Weber, benda terdiri dari molekul-molekul yang bersifat magnet. Molekul-molekul ini sering disebut magnekul. Benda magnet mempunyai susunan magnekul yang teratur dan benda non magnetik mempunyai susunan magnet yang tak teratur.

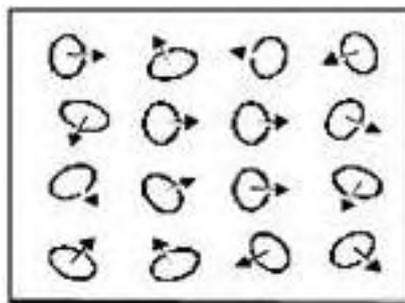


Gambar II.1. Benda non magnetik. [www.nde-ed.org,2014]

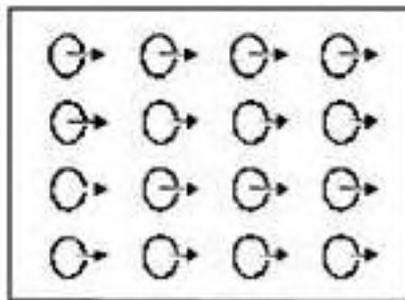


Gambar II.2. Magnetik. [www.nde-ed.org,2014]

Menurut Ampere, dari atom-atom yang dapat dianggap sebagai inti yang di kelilingi arus elementer. Atom-atom ini bersifat sebagai magnet. Benda magnet mempunyai susunan atom teratur terletak pada bidang-bidang sejajar dan arusnya searah. Sedang benda non magnet mempunyai susunan atom tak teratur. [www.nde-ed.org, 2014]



Gambar II.3. Benda Non Magnet. [www.nde-ed.org,2014]

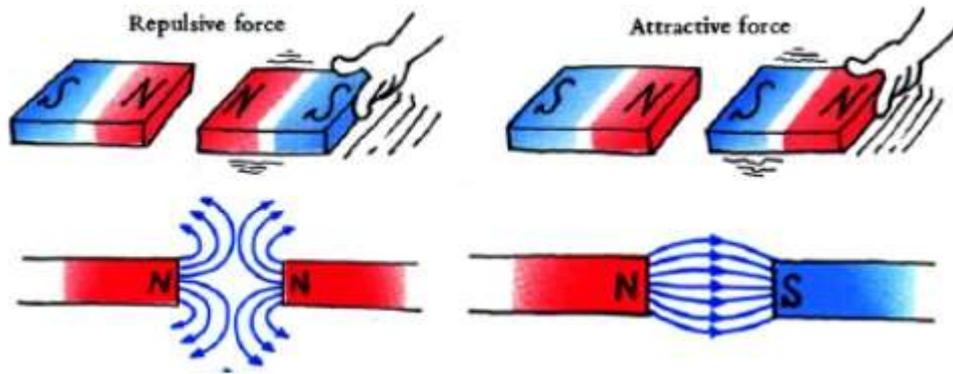


Gambar II.4. Benda Magnet. [www.nde-ed.org,2014]

Material lain dapat dibuat menjadi magnet buatan apabila sembarang material dimagnetisasi, ia memiliki medan magnet yang akan menarik logam tertentu dan medan magnet lain. Pada benda yang termagnetisasi (benda magnet) selalu terdapat 2 kutub, yakni kutub utara

dan kutub selatan, dimana sebagian atau seluruh domain magnetnya memiliki orientasi kutub utara dan selatan. [Smilie, 2000]

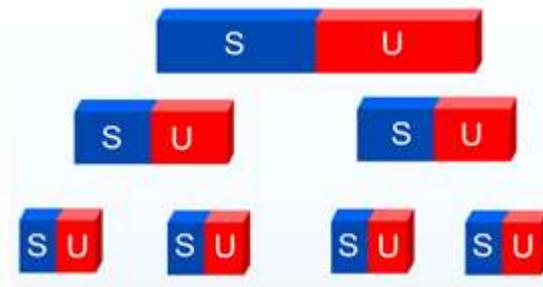
Daerah pada benda magnet yang mempunyai kekuatan menarik terbesar yaitu pada daerah di ujung besi, atau dapat dikatakan bahwa kemampuan untuk menarik atau menolak benda lain terkonsentrasi pada suatu tempat yaitu pada daerah kutub.



Gambar II.5. Gaya yang terjadi pada kutub magnet yang didekatkan. [www.nde-ed.org,2014]

Bila sebuah magnet batang dipotong pada bagian tengahnya, maka akan timbul kutub-kutub baru dengan polaritas yang berlawanan pada kedua ujung potongan. Setiap seperdua magnet batang itu memiliki sebuah kutub utara dan kutub selatan. Jadi, sebatang magnet yang dipotong dua akan menghasilkan suatu magnet baru yang lebih kecil, bagian terkecil sekalipun yang telah dipotong akan tetap bersifat magnet. Bagian-bagian terkecil yang menyusun sebuah magnet disebut magnet elementer.

Semua bahan magnetik, seperti besi atau baja yang tidak bersifat magnet (tidak termagnetisasi) letak magnet-magnet elementer tersusun secara tidak teratur (tersusun secara acak) dan membentuk hubungan yang tertutup, sehingga tidak memberikan pengaruh magnetik dari luar. Arah magnet elementer pada suatu bahan dapat diubah menjadi teratur dengan cara memagnetisasi bahan atau material tersebut.



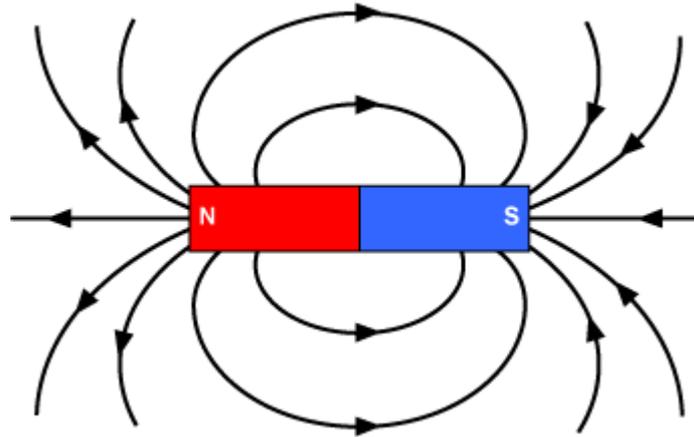
Gambar II.6. Pembentukan kutub baru pada potongan magnet batang. [www.nde-ed.org,2014]

Bila pada besi atau baja didekatkan pada sebuah magnet atau dililitkan kumparan arus, maka sebagian atau seluruh magnet-magnet elementer ini akan menjadi lebih teratur. Magnet-magnet elementer tersebut mengarahkan diri sedemikian rupa, hingga kutub utara dan kutub selatan masing-masing magnet elementer menghadap pada arah yang sama.

Pemagnetan menyebabkan semua magnet elementer mengarahkan diri sehingga akan membentuk kutub utara dan kutub selatan secara bersama. Semakin banyak magnet-magnet elementer yang mengarahkan diri di dalam bahan magnetik, maka semakin kuat pula pengaruh medan magnetiknya. Apabila seluruh magnet elementer telah mengarahkan diri, tidak mungkin lagi akan terjadi penambahan pengaruh magnetik, hal ini dikarenakan bahan atau material tersebut telah mencapai kejenuhan magnetik.

Beberapa macam bahan seperti besi atau baja, dapat mempertahankan kemagnetannya dengan baik setelah pengaruh kemagnetannya dihilangkan, hanya sejumlah kecil magnet-magnet elementer yang kembali pada keadaan acaknya. Sebagian besar magnet elementer tetap berada pada posisinya yang terarah.

Pada suatu magnet, gaya magnet yang dikeluarkannya menempati suatu daerah tertentu. Daerah dimana gaya magnet ini bekerja disebut dengan medan magnet. Sedangkan garis gaya magnet menunjukkan arah medan magnet disetiap titiknya. Garis gaya magnet bersumber dari kutub utara menuju ke kutub selatan. Garis gaya magnet ini merupakan suatu siklus yang tertutup.



Gambar II.7. Garis-garis medan magnet. [Betz,2000]

Semua garis-garis gaya magnet membentuk medan magnet. Garis-garis gaya magnet dari sebuah magnet permanen memiliki sifat sebagai berikut:

1. Membentuk rangkaian tertutup antara kutub utara dan selatan.
2. Tidak memotong satu sama lainnya.
3. Selalu mencari lintasan dengan tahanan magnetis terkecil.
4. Kerapatannya berkurang dengan bertambahnya jarak dari kutub.
5. Memiliki arah, menurut kesepakatan, dari kutub utara ke kutub selatan di luar magnet, dan dari kutub selatan ke kutub utara di dalam magnet.

Gaya yang menarik material magnet lain ke kutub suatu magnet dinamakan *flux* magnetis. *Flux* magnetis tersusun dari semua garis-garis gaya magnet. Jika medan magnet dibengkokkan hingga membentuk lingkaran tertutup, seluruh medan magnet berada di dalamnya, dan tidak ada gaya luar. Namun demikian, sebuah retakan pada magnet tersebut akan mengganggu aliran garis gaya dan menciptakan sebuah kebocoran *flux*. Medan magnet merupakan kerapatan *flux* (*flux* persatuan luas). Kerapatan *flux* menunjukkan kuatnya medan magnet yang bekerja di setiap lokasi pada material tersebut, dimana besarnya kerapatan *flux* dipengaruhi oleh besarnya gaya magnet dan permeabilitas suatu bahan. Secara matematis dapat diformulakan sebagai berikut :

$$\mathbf{B} = \mu \cdot \mathbf{H} \text{ [Reitz, 1993]} \quad [2.1]$$

Sedangkan hubungan antara magnetisasi bahan dan gaya magnet yang terjadi pada material tersebut secara matematis dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$\mathbf{M} = \chi_m \cdot \mathbf{B} \text{ [Reitz, 1993]} \quad [2.2]$$

Sedangkan harga μ didefinisikan :

$$\mu = \mu_0 (1 + \chi_m) \text{ [Reitz, 1993]} \quad [2.2]$$

Dimana :

B = kerapatan flux (Tesla) atau (Wb/m^2).

M = momen magnetik / magnetisasi bahan

H = gaya magnet (A/m)

μ = permeabilitas bahan

μ_0 = permeabilitas ruang hampa ($4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$)

χ_m = suseptibilitas bahan

Dimana besarnya harga χ_m menentukan kuatnya reaksi bahan/material terhadap magnet.

Sedangkan dalam pengertian lain juga diberikan harga :

$$K_m = \mu/\mu_0 \quad [2.3]$$

$$= 1 + \chi_m \text{ [Reitz, 1993]} \quad [2.4]$$

Dimana besaran K_m ini merupakan besaran tak berdimensi dan disebut dengan kelulusan nisbi.

Berikut ini harga setiap suseptibilitas suatu bahan.

Tabel II-1. Suseptibilitas berbagai bahan pada suhu kamar. [Reitz, 1993]

Bahan	χ_m
-------	----------

Aluminium	2.1×10^{-5}
Bismut	$-16,4 \times 10^{-5}$
Tembaga	$-0,98 \times 10^{-5}$
Intan	$-2,2 \times 10^{-5}$
Emas	$-3,5 \times 10^{-5}$
Magnesium	$1,2 \times 10^{-5}$
Air raksa (Hg)	$-2,8 \times 10^{-5}$
Perak	$-2,4 \times 10^{-5}$
Natrium	$0,84 \times 10^{-5}$
Titanium	$18,0 \times 10^{-5}$
Tungsten	$7,6 \times 10^{-5}$
Karbon dioksida	$-1,19 \times 10^{-5}$
Hidrogen (1 atm)	$-0,22 \times 10^{-5}$
Nitrogen (1 atm)	$-0,67 \times 10^{-5}$
Oksigen (1 atm)	$193,5 \times 10^{-5}$

Tabel II-2. Sifat bahan feromagnet pada suhu ruang [Reitz, 1993]

	Susunan, %	$\mu_0 M_S$ (T)	H_S (A/m)	K_m maksimum
		2.15	1.6×10^5	5.500

Nikel		1.79	7.0×10^5	
		0.61	5.5×10^5 $H_c(A/m)$	
Besi silicon	96 Fe, 3 Si	2.02	56	8.600
Lakur-kekal	55 Fe, 45 Ni	1.60	5.6	50.000
Mumetal	5 Cu, 2 Cr, 77 Ni, 16 Fe	0.75	1.2	150.000
Permendur	50 Co, 50 Fe	2.40	159	6.000
Mn ferit	$MnFe_2O_4$	0.49		2.500
Ni ferit	$MnFeO_2$	0.32 Br(T)		2.500
Baja kobalt	52 Fe, 36 Co, 4 W, 6 Cr, 0.8 C	0.97	19×10^3	
Alnico V	51 Fe, 8 Al, 14 Ni, 24 Co, 3 Cu	1.25	49×10^3	

Dimana :

M_s = pemagnetan jenuh.

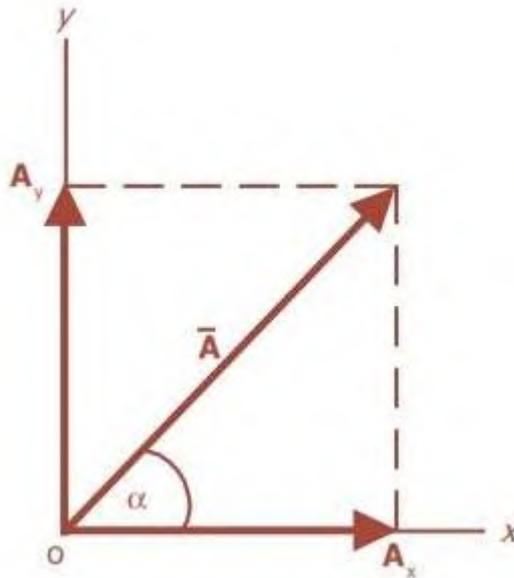
H_s = intensitas magnet yang diperlukan untuk mencapai kejenuhan.

H_c = koersifitas.

B_r = *remanens*

II.1.2. Medan Vektor

Jika dua buah gaya magnet bekerja secara serempak di suatu lokasi yang sama, benda tidak termagnetisasi dalam dua arah pada waktu yang bersamaan. Pada kejadian di atas, terbentuk medan vector yang merupakan resultan/paduan arah dan kekuatan dari dua medan magnet yang bekerja tersebut.



Gambar II.8. Medan vector. [www.nde-ed.org,2014]

Hal tersebut digambarkan di bawah ini, dimana A_y adalah gaya magnet pertama, A_x gaya magnet kedua, dan \vec{A} adalah gaya magnet resultan. [www.nde-ed.org,2014]

II.1.3. Klasifikasi Material Magnetis

Jika sebuah benda diletakkan dalam suatu medan magnet, gaya magnet akan mempengaruhinya dan benda tersebut dikatakan menjadi termagnetisasi. Intensitas magnetisasi tergantung pada kerentanan material tersebut untuk dapat berubah menjadi magnet.

Semua unsur dapat diklasifikasikan berdasarkan sifat magnetnya menjadi lima jenis yang bergantung pada tingkat kemagnetan suatu benda untuk termagnetisasi, yang pada umumnya erat kaitannya dengan kandungan mineral dan oksida besi (suseptibilitas) magnetnya. Pada umumnya, jenis magnet yang sering ditemukan adalah diamagnetik dan paramagnetik. Penggolongan sifat magnet dari unsur-unsur ditunjukkan dalam tabel periodik di bawah ini:

1 H	<input type="checkbox"/> Ferromagnetic <input type="checkbox"/> Antiferromagnetic <input type="checkbox"/> Paramagnetic <input type="checkbox"/> Diamagnetic																2 He	
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
87 Fr	88 Ra	89 Ac																
			58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu		

Gambar II.9. Tabel *periodic unsure*, menunjukkan sifat magnet unsur-unsur pada temperatur kamar. [Cullity, 1972]

Pada tabel periodik unsur di atas, terlihat bahwa sebagian besar unsur bersifat paramagnetic, sedangkan material yang bersifat ferromagnetik dan antiferromagnetik hanya ditemukan sedikit didalam unsur murni. Untuk material yang memiliki sifat ferromagnetik hanya ditemukan dalam senyawa, seperti campuran oksida yang disebut ferrite yang berasal dari ferromagnetik. [Cullity, 1972]

Dalam ilmu fisika, momen dipol magnet adalah ukuran pemisahan antara muatan magnet positif dan negatif dalam sistem muatan magnet yaitu ukuran keseluruhan polaritas sistem muatan tersebut. Sebuah dipol magnet memiliki pasangan yang setara besarnya namun memiliki muatan yang berlawanan. [David, 1999]

Pada suatu bahan/material, atom-atom memiliki momen dipol megnetik akibat gerak elektronnya. Disamping itu, setiap elektron memiliki suatu momen dipol magnetik intrinsik yang dikaitkan dengan putarannya.

Momen magnetik total suatu atom bergantung pada susunan elektron didalam atomnya. Tidak seperti keadaan dipol listrik, penyebaran dipol penyearah magnetik sejajar dengan medan magnetik luar. [Tipler, 2001].

Bahan paramagnetik dan ferromagnetik memiliki molekul dengan momen dipol magnetik permanen. Dalam bahan paramagnetik, dipol magnetik tidak berinteraksi kuat satu sama lainnya dan biasanya diorientasikan secara acak. Dengan adanya medan magnetik luar, sebagian dipol itu disearahkan dengan arah medannya, dengan demikian memperkuat medannya. Akan tetapi pada medan magnetik luar dengan kekuatan biasa pada temperatur biasa, hanya sebagian kecil dan

molekul yang disearahkan karena gerak termal cenderung mengacak orientasinya. Peningkatan medan magnetik total dengan demikian sangat kecil.

Sifat feromagnetik jauh lebih rumit. Karena interaksi kuat antara dipol magnetik yang berdekatan, terjadi derajat penyearahan yang tinggi sekalipun dalam medan magnetik luar yang lemah, menyebabkan peningkatan yang sangat besar pada medan total. [Tipler, 2001].

Sekalipun medan magnetik dari luar tidak ada, bahan feromagnetik dapat membuat dipol magnetiknya menjadi searah seperti halnya pada magnet permanen. Sifat diamagnetik diamati dalam bahan yang molekulnya tidak memiliki momen magnetik permanen. Hal ini adalah hasil dari momen dipol magnetik yang berlawanan arah dengan medan luarnya. Dengan demikian dipol induksi menurunkan medan magnetik total. Pengaruh ini sebenarnya terjadi pada seluruh bahan, tetapi karena sangat kecil, pengaruh ini tertutup oleh paramagnetik atau feromagnetik ketika molekul bahan masing-masing memiliki momen dipol magnetik permanen. [Tipler, 2001].

II.1.3.1. Diamagnetik

Bahan diamagnetik merupakan bahan yang memiliki nilai suseptibilitas χ_m negatif dan sangat kecil dengan orde 10^{-5} s/d 10^{-9} . Diamagnetik merupakan sifat magnet yang paling lemah, yaitu tidak permanen dan hanya muncul selama berada dalam medan magnet luar. Besarnya momen magnetik yang diinduksikan sangat kecil, dan dengan arah yang berlawanan dengan arah medan luar. [Cullity, 1972]

Dapat dikatakan bahwa bahan ini tidak memiliki sifat kemagnetan sama sekali. Bahan ini mengalami gaya tolak dari sebuah magnet, dimana gaya tolak ini sangat kecil sekali dan hampir tidak terasa. Sifat diamagnetik suatu material pertama kali ditemukan oleh Faraday pada tahun 1846, pada saat itu ia mengetahui bahwa sepotong bismut ditolak oleh kedua kutub magnet, dimana hal itu memperlihatkan bahwa medan luar dari magnet tersebut menginduksikan suatu momen magnetik pada bismut dalam arah yang berlawanan dengan medan tersebut. [Tipler, 2001].

Kita dapat melihat pengaruh ini secara kualitatif dengan menggunakan hukum Lenz dimana pada dua muatan positif yang bergerak dalam orbit melingkar dengan kecepatan yang sama tetapi dengan arah yang berlawanan. Momen magnetiknya memiliki arah yang berlawanan dengan demikian akan saling meniadakan. Menurut hukum Lenz arus akan diinduksikan untuk melawan perubahan flux. Material/bahan diamagnetik sangat sukar untuk dimagnetisasi. Pada bahan diamagnetik, magnet-magnet elementer yang tersusun berlawanan arah dengan medan magnet penyebabnya (medan magnet dari luar). Contoh dari material diamagnetik antara lain adalah tembaga, perak, emas, dsb. [Tipler, 2001].

II.1.3.2. Paramagnetik

Bahan paramagnetik ialah bahan/material yang memiliki suseptibilitas χ_m positif dan sangat kecil dengan orde 10^{-3} s/d 10^{-8} . Bahan ini memiliki sifat kemagnetan yang lemah dan ditarik sangat lemah oleh magnet. Dengan daya medan magnetik dari luar, momen magnetik ini cenderung menyearahkan sejajar dengan medannya, tetapi ini dilawan oleh kecenderungan momen untuk berorientasi acak akibat gerakan termalnya. [Tipler, 2001].

Perbandingan momen yang menyearahkan dengan medan ini tergantung pada kekuatan medan dan pada temperaturnya. Pada medan magnetik luar yang kuat dan temperaturnya yang sangat lemah, hampir seluruh momen akan disearahkan dengan medannya. Dalam keadaan ini kontribusi pada medan magnetik total akibat bahan ini sangat besar. Pada temperatur yang lebih tinggi hanya sebagian kecil dari momen yang disearahkan dengan medan luar, dan kontribusi bahan atas medan magnetik total sangat kecil. Pada bahan paramagnetik, megnet-magnet elementernya searah dengan medan magnet asli tetapi sifat kemagnetannya lemah sekali. Contoh material yang termasuk jenis material paramagnetik antara lain adalah magnesium, molybdenum, lithium, tantalum, dsb. [Tipler, 2001].

II.1.3.3. Feromagnetik

Feromagnetik memiliki momen magnetik permanen tanpa adanya medan magnet yang diberikan dari luar. Suseptibilitas magnetnya dapat mencapai 106. Bahan feromagnetik merupakan bahan yang memiliki nilai suseptibilitas magnetik χ_m positif, yang sangat tinggi. Feromagnetik muncul pada besi murni, kobalt dan nikel serta paduan dari logam-logam ini. sifat ini juga dimiliki oleh gadolinium,disprosium, dan beberapa senyawa lain. Dalam bahan-bahan ini sejumlah kecil medan magnetik luar dapat menyebabkan derajat penyearah yang tinggi pada momen dipol magnetik atomnya. [Tipler, 2001].

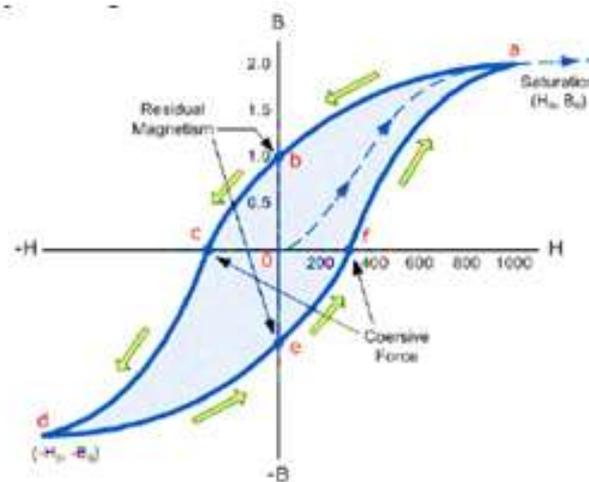
Dalam beberapa kasus, penyearahan ini dapat bertahan sekalipun medan pemagnetannya telah hilang. Ini terjadi karena momen dipol magnetik atom dari bahan-bahan ini mengarahkan gaya-gaya yang kuat pada atom tetangganya sehingga dalam daerah ruang yang sempit momen ini disearahkan satu sama lain sekalipun medan luarnya tidak ada lagi. Daerah ruang tempat momen dipol magnetik disearahkan ini disebut daerah magnetik. Dalam daerah ini semua momen magnetik disearahkan, tetapi arah penyearahannya beragam dari daerah ke daerah sehingga momen magnetik total dari kepingan mikroskopis bahan feromagnetik ini adalah nol dalam keadaan normal. [Tipler, 2001].

Pada temperatur diatas suatu temperatur kritis (temperatur Curie), gerak termal acak sudah cukup besar untuk merusak keteraturan penyearahan ini, sehingga diatas temperatur Curie, bahan feromagnetik akan berubah menjadi paramagnetik. [Tipler, 2001].

II.1.4. Kurva Histerisis

Sebagai inti dari pemahaman masalah magnetisme dalam material adalah kurva histerisis magnetis. Dari kurva sederhana ini, seorang teknisi dapat memperoleh pemahaman menyeluruh mengenai bagaimana tahapan pengujian partikel magnet digunakan. Kurva histerisis magnet juga disebut sebagai lingkaran histerisis. Jika sepotong baja ditempatkan di dalam sebuah kumparan yang di dalamnya mengalir arus AC, dapat diplot hubungan antara gaya magnetisasi "H" dan kerapatan flux "B". H dalam, satuan Henry atau Oersteds, dan B dalam satuan Gauss.

Bila suatu medan magnet digunakan untuk membangkitkan gaya mekanis, selalu diperlukan induksi magnet B yang besarnya tertentu untuk menghasilkan gaya mekanis tersebut. Bagi desain sebuah rangkaian, maka perlu untuk menetapkan kuat medan magnet H (dalam hal ini adalah banyaknya gulungan yang digunakan) untuk menghasilkan induksi magnet B yang sesuai. Kurva histerisis adalah sebuah kurva yang menunjukkan hubungan antara B (rapat flux magnetik) dan H (gaya magnetisasi). Kurva histeresis menunjukkan mudah atau susahnya suatu bahan/material untuk dimagnetisasi. [Betz, 2000].



Gambar II.10. Kurva Histerisis. [www.nde-ed.org,2014]

Permeabilitas (μ), didefinisikan sebagai B/H , merupakan kemiringan kurva dan bervariasi secara menerus pada sembarang titik pada kurva. Permeabilitas dari sebuah material dapat ditentukan dengan peningkatan gaya magnetisasi (kekuatan arus listrik) hingga material mencapai

titik jenuhnya (titik a). Masing-masing material memiliki titik kerapatan flux maksimum (titik jenuh) tertentu.

Tiap penambahan gaya magnetisasi “H” mengakibatkan peningkatan kerapatan flux “B” yang pada mulanya cukup cepat, kemudian berlangsung lambat hingga mencapai sebuah titik dimana penambahan gaya magnetisasi tidak akan menambah kerapatan flux (titik a). Garis putus-putus titik (o-a) memperlihatkan kerapatan flux maksimum dan seringkali disebut sebagai kurva *virgin* karena pada mulanya material tidak termagnetisasi. Selama gaya magnetisasi H dikurangi hingga nol (dari titik a ke b), kerapatan flux B berkurang dengan lambat tapi tidak kembali ke nol, namun tertinggal di belakang H sepanjang ruas a ke b.

Kurva histerisis memperoleh namanya dari ketertinggalan (lag) antara gaya magnetisasi yang diaplikasikan dan kerapatan flux actual dalam benda. Lag diperlihatkan antara titik o-b dan o-f. Kemampuan suatu baja untuk menahan sejumlah tertentu magnetisme sisa dinamakan retentivitas atau remanence, seperti diperlihatkan antara titik o dan b. Pada saat gaya magnetisasi dibalik arahnya, seperti selalu terjadi dengan arus AC, kerapatan flux berkurang hingga nol pada titik c di bawah.

Gaya coercive adalah gaya magnetisasi pembalik yang diperlukan untuk menghilangkan magnetisme sisa dari dalam material seperti ditunjukkan di atas. Baja yang dikeraskan memerlukan gaya magnetisasi pembalik yang lebih besar untuk menghilangkan magnetisme sisa. Pada saat gaya magnetisme pembalik ditingkatkan hingga melalui titik c, kerapatan flux bertambah hingga mencapai titik jenuh dalam arah yang berlawanan seperti pada titik d. Titik e menunjukkan besarnya medan magnet sisa dalam arah yang berlawanan.

Gaya yang diperlukan untuk menghilangkan medan magnet sisa ditunjukkan antara titik o dan f, yang disebut gaya coercive. Kurva histerisis menjadi lengkap saat gaya magnetisasi ditambahkan besarnya hingga mencapai kerapatan flux maksimum pada titik a. Seperti telah diperlihatkan sebelumnya, lingkaran histerisis terbentuk secara penuh tiap 1/60 detik. Lingkaran histerisis dapat dipakai juga untuk menjelaskan proses magnetisasi atau demagnetisasi memakai arus DC dimana pembalikan arah aliran arus antara kutub + dan kutub – dilakukan secara manual atau otomatis. Lingkaran histerisis dari sebuah logam tergantung pada paduan material atau komposisi kimia, struktur mikro, dan ukuran butiran.

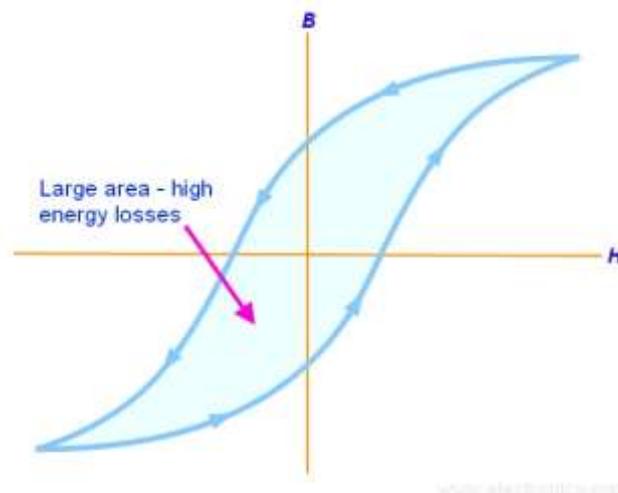
II.1.4.1. Karakteristik Kurva Histeresis

Perbedaan yang mendasar pada kurva histeresis adalah menyangkut bentuknya, apakah berbentuk melebar (gemuk) atau cenderung menyempit (ramping). Masing-masing kurva

histeresis tersebut memberikan sifat kemagnetan dari suatu bahan dimana untuk bahan satu dengan yang lainnya tentu akan mempunyai sifat kemagnetan yang berbeda. Gambar kurva histeresis yang mungkin terjadi pada suatu bahan/material adalah jenis *wide loop* (berbentuk lebar/gemuk) dan jenis *slender loop* (berbentuk sempit/ramping). [Smilie, 2000].

a. Kurva histeresis bentuk wide loop

Lingkaran histeresis yang gemuk menunjukkan sebuah material yang sulit dijadikan magnet (material yang memiliki reluktansi tinggi). Jarak antara titik o dan f di atas akan tergantung pada gaya coersive yang diperlukan untuk mengatasi reluktansi baja tersebut. Baja keras seperti baja kadar karbon tinggi akan memiliki sifat seperti berikut dan akan menghasilkan lingkaran histeresis yang lebar.



Gambar II.11. Kurva histeresis bentuk "wide loop".(Smilie,2000)

Karakteristik dari suatu bahan yang memiliki kurva bentuk wide loop adalah :

1. *Low permeability.*

Permeabilitas yang rendah menunjukkan bahwa suatu logam sukar untuk dimagnetisasi. Sehingga dalam hal ini, bahan dengan bentuk kurva wide loop mempunyai kecenderungan untuk susah dimagnetisasi.

2. *High retentivity.*

Material dengan retentivitas tinggi yaitu kurva bentuk wide loop kecenderungan untuk menahan adanya magnet sisa pada bahan/material tersebut adalah besar.

3. *High coercive forces.*

Pada material dengan bentuk kurva wide loop memiliki gaya coercive tinggi yaitu gaya magnet yang diperlukan untuk menghilangkan adanya medan magnet sisa pada material tersebut sangat besar.

4. *High reluctance.*

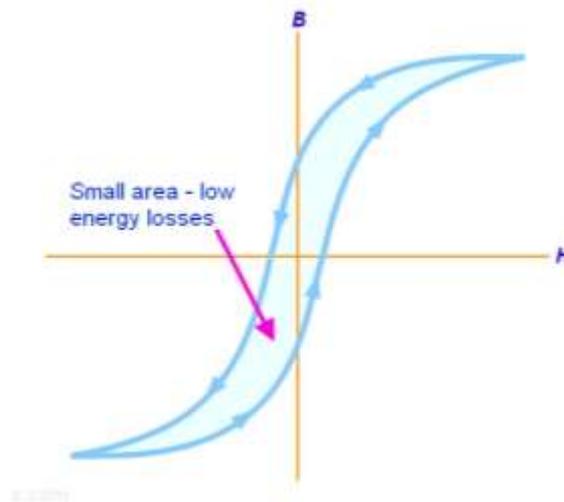
Pada material reluktansi tinggi memiliki ketahanan yang tinggi terhadap gaya magnetisasi.

5. *High residual magnetism.*

Pada material magnetism sisa yang tinggi mampu menahan medan magnet sisa secara kuat.

b. Kurva histeresis bentuk slender loop

Lingkaran histeresis yang ramping menunjukkan suatu material yang memiliki retentivitas rendah. Kurva di bawah ini memperlihatkan sifat sebuah material lunak seperti baja kadar karbon rendah. Gaya coercive yang rendah disebabkan material hanya menahan medan magnet sisa yang kecil.



Gambar II.12. Kurva histeresis bentuk "slender loop".(Smilie,2000)

Karakteristik dari suatu bahan yang memiliki kurva bentuk bentuk slender loop adalah :

1. *High permeability.*

Permeabilitas tinggi menyebabkan material mudah dijadikan magnet.

2. *Low retentivity.*

Retentivitas rendah berarti material lemah dalam menahan medan magnet sisa.

3. *Low coercive forces.*

Pada bahan/material dengan bentuk kurva slender loop, gaya magnet yang diperlukan untuk menghilangkan adanya medan magnet sisa pada material tersebut kecil.

4. *Low reluctance.*

Pada material reluktansi rendah memiliki ketahanan yang rendah terhadap gaya magnetisasi.

5. *Low residual magnetism.*

Pada material magnetisme sisa yang rendah hanya mampu menahan medan magnet sisa dalam jumlah kecil.

II.1.5. Klasifikasi Magnet

Berdasarkan cara pembangkit medan magnetnya, magnet dibedakan menjadi 2, yaitu magnet permanen dan magnet listrik (elektromagnet). Dimana, pada magnet permanen medan magnet berasal dari bahan itu sendiri sedangkan pada magnet listrik, medan magnet dihasilkan dengan cara dialirkan arus listrik pada material tersebut.

II.1.5.1. Magnet Permanen

Magnet permanen adalah suatu magnet yang dapat menghasilkan medan magnet yang besarnya tetap tanpa pengaruh dari luar. Jenis magnet tetap selama ini yang diketahui terdapat pada:

- a. Magnet neodmium, merupakan magnet tetap yang paling kuat.

Magnet neodmium (juga dikenal sebagai NdFeB, NIB, atau magnet Neo), merupakan sejenis magnet tanah jarang, terbuat dari campuran logam neodmium,

- b. Magnet Samarium-Cobalt

Salah satu dari dua jenis magnet bumi yang langka, merupakan magnet permanen yang kuat yang terbuat dari paduan samarium dan kobalt.



Gambar II.13. Berbagai bentuk magnet permanen. [www.nde-ed.org,2014]

Magnet permanen ini dibuat orang dalam berbagai bentuk, seperti : magnet batang, magnet ladam (tapal kuda), magnet jarum, magnet silinder, magnet U, dan lain sebagainya. [Poetro, 2011].

II.1.5.2. Magnet Listrik

Magnet listrik adalah suatu bahan/material yang dapat menghasilkan medan magnet apabila pada bahan tersebut dialiri arus listrik. Besarnya medan magnet yang dihasilkan tergantung dari besarnya arus listrik yang mengalir pada bahan tersebut.

Medan magnet yang digunakan didalam praktek umumnya dihasilkan oleh arus dalam kumparan yang berinti besi, sistem ini dinamakan elektromagnet. Keuntungan jenis elektromagnet adalah sifat kemagnetan bahan dapat dibuat sangat kuat. Kekuatan magnet ini dapat diubah-ubah dengan mengubah besarnya arus yang mengalir, sehingga kita juga dapat dapat menghilangkan sifat magnetnya dengan memutus aliran arus listriknya. [Poetro, 2011].

II.1.6. Sifat Kemagnetan Suatu Bahan

Suatu bahan dapat dikatakan sebagai magnet apabila mempunyai karakteristik sebagai berikut:

1. Efek gaya (dapat menarik besi/baja ataupun logam paduannya).
2. Efek pengarahan (jika dapat bergerak bebas, magnet akan menunjuk arah utara- selatan).

Magnet batang yang dicelupkan kedalam serbuk besi akan dapat menarik sejumlah serbuk besi itu. Sebagian serbuk besi itu akan menempel pada kedua ujung magnet batang, sedangkan pada bagian tengahnya hampir tidak ada serbuk besi yang menempel. Hal tersebut dijelaskan bahwa partikel besi akan tertarik hanya pada tempat dimana garis-garis gaya atau flux memasuki

atau meninggalkan magnet. Karena magnet melingkar tidak memiliki kutub, maka tidak ada tempat bagi garis-garis gaya magnet atau flux untuk meninggalkan atau memasuki magnet.

Pada tempat dimana terjadi kebocoran medan magnet, partikel besi akan tertarik dan membentuk suatu indikasi diskontinuitas. Diskontinuitas bawah permukaan bahkan juga bisa terdeteksi jika kebocoran medannya cukup kuat untuk menarik partikel besi. Pada sebuah magnet dengan permukaan melekuk, garis-garis gaya tetap berada di dalam magnet. Garis-garis gaya cenderung mengikuti lintasan dengan tahanan paling kecil, yang berada di dalam magnet. Sebagai akibatnya, tidak terbentuk kutub dan kebocoran medan magnet.

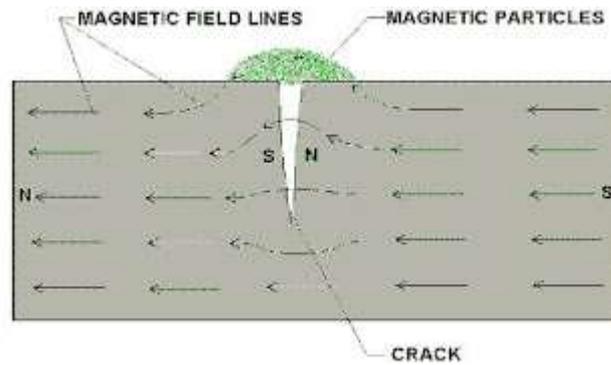
II.2. Pengujian Magnet

Karena dimungkinkan untuk memagnetisasi logam-logam tertentu, maka dimungkinkan pula untuk melihat adanya discontinuitas dengan menggunakan suatu media (dalam hal ini adalah partikel magnet) yang memiliki daya tarik magnet. Pengujian ini dilakukan didalam mendeteksi adanya kerusakan, terutama yang berada dibawah permukaan suatu material. [Betz, 2000].

II.2.1. Prinsip Pengujian Magnet

Pengujian partikel magnetik merupakan metode pengujian tidak merusak yang relatif mudah dan sederhana. Pengujian ini memberikan penampakan atau indikasi diskontinuitas pada permukaan (*surface*) dan dibawah permukaan (*sub-surface*) suatu material yang mempunyai sifat magnetik. Pengujian ini dapat diaplikasikan pada material dasar seperti *billets*, *bar* serta *shapes*. Pengujian magnetik tidak dapat dipakai pada material non-magnetik seperti aluminium, tembaga dan logam non magnetik lainnya. [Betz, 2000].

Metode pengujian ini didasarkan atas prinsip bahwa garis-garis gaya medan magnet (*magnetic flux*) pada suatu objek atau material yang dimagnetisasi akan terdistorsi secara lokal karena adanya diskontinuitas pada material tersebut. Akibat penyimpangan ini, sebagian dari medan magnet daerah yang mengalami diskontinuitas akan meninggalkan daerah ini dan akan kembali pada daerah yang tidak mengalami diskontinuitas, sehingga akan terjadi kerusakan aliran garis-garis gaya. Fenomena ini dinamakan "*Magnetic Flux Leakage*" (kebocoran medan magnet). [Betz, 2000].



Gambar II.14. Indikasi diskontinuitas pada material.

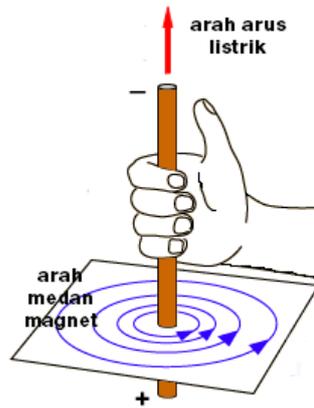
Kebocoran medan magnet (*Flux Leakage*) adalah tertariknya partikel-partikel pada material magnetik akibat adanya diskontinuitas sehingga akan membentuk garis-garis besar. Pengujian partikel magnetik dapat diaplikasikan pada bermacam-macam tahapan manufaktur dan selama proses pengoperasian komponen. Ide dasar uji partikel magnet adalah untuk mengidentifikasi adanya diskontinuitas pada bahan feromagnetik. [Betz, 2000].

II.2.2. Pembangkitan Medan Magnet

Ketika arus listrik melewati konduktor, medan magnet terbentuk didalam dan disekitar konduktor. Jika konduktor memiliki bentuk yang sama, kerapatan dari medan luarnya (sebagai contoh, jumlah garis gaya persatuan luas) adalah sama pada titik sepanjang konduktornya. Pada titik manapun pada konduktor itu medan magnetik terkuat berada pada alas konduktor dan berkurang secara seragam sesuai peningkatan jarak dari konduktor. Arah dari medan magnet magnetnya (garis-garis gaya) adalah 90 derajat terhadap arus dalam konduktor. [Smilie, 2000].

II.2.3. Kaidah Tangan Kanan dan Kaidah Tangan Kiri

Sebagai cara mudah untuk menentukan arah dari medan magnet yang terinduksi listrik adalah dengan cara membayangkan memegang konduktor dengan tangan kanan. Prinsip ini dinamakan dengan kaidah tangan kanan, dimana arah ibu jari pada penghantar menunjukkan arah aliran arus listrik sedangkan arah keempat jari lainnya merupakan arah garis-garis gaya magnet.



Gambar II.15. Kaidah tangan kanan.

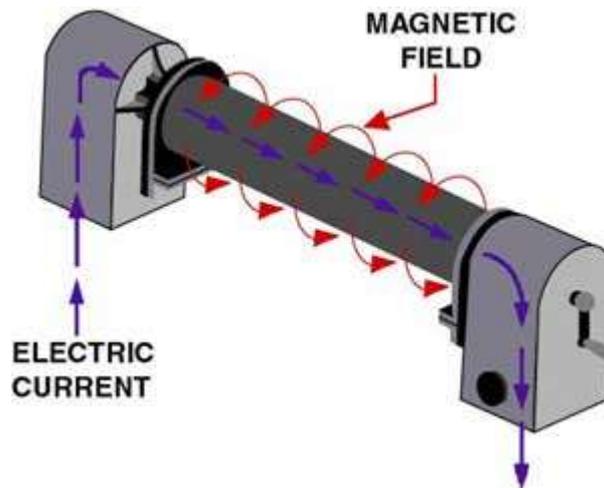
Sedangkan apabila referensi yang digunakan adalah berdasarkan aliran elektron, maka untuk referensi aliran elektron dari (+) menuju (-) maka dipakai kaidah tangan kanan. Sebaliknya bila digunakan referensi aliran elektron dari (-) menuju (+), maka dipakai kaidah tangan kiri. [Smilie, 2000].

II.2.4. Circular magnetization

Medan magnet yang melingkar diinduksikan kepada sebuah benda baik dengan cara melewati arus langsung kepada benda (*direct induction*), dengan melewati arus melalui sebuah konduktor dikelilingi oleh benda (*indirect induction*), atau dengan penggunaan prods. Pada magnetisasi langsung, medan magnet akan seragam sepanjang benda/bahan yang dimagnetisasi. Adapun medan magnet circular dapat diinduksikan kedalam suatu bahan melalui induksi langsung, induksi langsung dengan menggunakan prods maupun dengan induksi tidak langsung. [Smilie, 2000].

II.2.4.1. Induksi Langsung (Direct induction)

Induksi langsung sebuah medan magnet melingkar dapat diperoleh dengan cara melewati arus melalui benda.

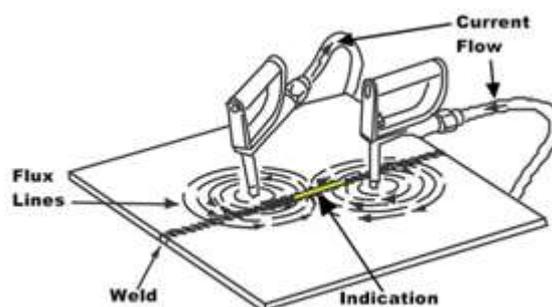


Gambar II.16. Circular magnetization dengan induksi langsung. [www.nde-ed.org,2014]

Metode ini dinamakan dengan head shot. Pada metode ini, bahan yang akan dimagnetisasi dialiri arus secara langsung, sehingga pada bahan tersebut akan timbul induksi medan magnet. Peralatan didesain sedemikian rupa, sehingga material yang akan dimagnetisasi dapat terpasang dengan baik. [Smilie, 2000].

II.2.4.2. Induksi Langsung dengan Prods

Sebuah metode lain dari induksi medan melingkar adalah dengan menggunakan prods. Magnetisasi prods digunakan dimana apabila ukuran dan lokasi benda/bahan tidak memungkinkan digunakan head shot atau central konduktor. Pada prods, aliran arus listrik diberikan melalui kaki-kakinya.



Gambar II.17. Circular magnetization dengan prods. [www.nde-ed.org,2014]

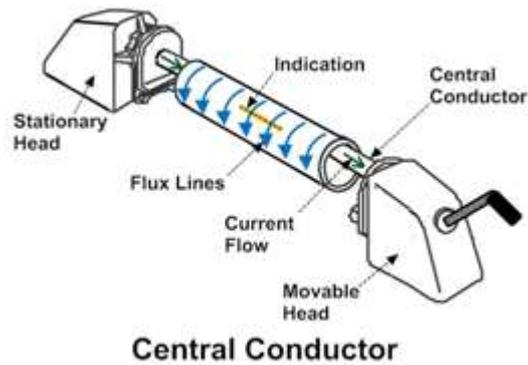
Tabel II-3. Karakteristik arus pada prod. [ASME,2015]

PROD SPACING INCHES (MILLIMETERS)	SECTION THICKNESS, INCHES (MILLIMETERS)	
	UNDER $\frac{3}{4}$ (19)	$\frac{3}{4}$ (19) AND OVER
2 to 4 (51 to 102)	200 to 400 amps	230 to 460 amps
Over 4 (102) to less than 6 (152)	400 to 600 amps	460 to 690 amps
6 to 8 (152 to 203)	600 to 800 amps	690 to 920 amps

Pemagnetisasian material dilakukan dengan cara menempelkan kaki-kaki prods pada permukaan material yang akan dimagnetisasi, sehingga akibat adanya aliran arus listrik pada prods maka akan timbul medan magnet pada material tersebut. Medan magnet yang terjadi diantara kaki-kaki prods terdistorsi akibat interaksi dari dua medan magnet yang dihasilkannya. Didalam pelaksanaannya, magnetisasi dengan menggunakan prods akan sangat efektif apabila jarak antar kaki-kaki prods adalah 6-8 inci. [Smilie, 2000].

II.2.4.3. Induksi Tidak Langsung (Indirect Induction)

Pada metode pembangkitan medan magnet secara tidak langsung untuk medan melingkar bahan/material yang dimagnetisasi ditempatkan agar konduktor pembawa arus menginduksikan medan magnet kepada bahan tersebut, metode ini dikenal sebagai *central conductor technique*.



Gambar II.18. Central Conductor. [www.nde-ed.org,2014]

Keuntungan dari metode ini adalah penggunaan central konduktor yang dapat menghilangkan kemungkinan terbakarnya bahan/material akibat aliran arus yang berlebih jika kontak yang buruk dilakukan pada ujung-ujung bahan tersebut. [Smilie, 2000]

II.2.5. Longitudinal Magnetization

Sebuah magnet batang permanen sangat baik digunakan sebagai contoh dari metode longitudinal magnetization. Magnetisasi longitudinal pada prinsipnya adalah dengan mengalirkan arus listrik pada sebuah kumparan dan material yang akan dimagnetisasi diletakkan pada kumparan tersebut, sehingga akibat adanya aliran arus listrik maka akan timbul suatu medan magnet. Magnetisasi longitudinal dapat dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya adalah dengan menggunakan kumparan (solenoid), dan yoke. [Smilie, 2000].

II.2.5.1. Coil/solenoid (kumparan)

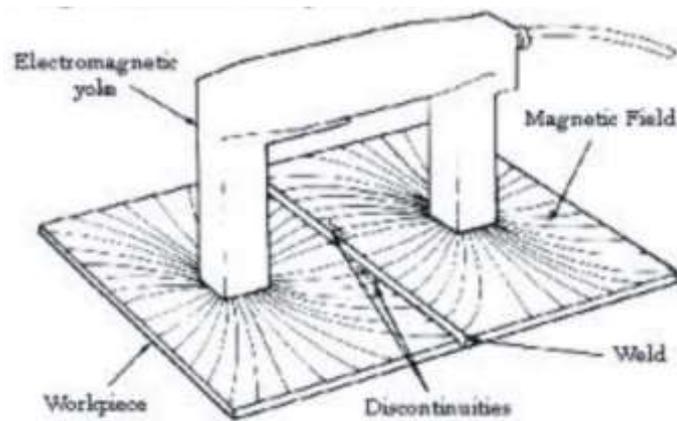
Ketika panjang benda beberapa kali lebih besar dari diameternya, sebuah benda dapat dimagnetisasi secara baik dengan menempatkannya secara memanjang pada medan magnet yang timbul pada kumparan tersebut. Hal ini dinamakan sebagai metode *coil shot*. [Betz, 2000].

II.2.5.2. Yoke

Yoke dapat digunakan untuk membuat magnet pada sebuah benda secara memanjang. Yoke sebenarnya merupakan sebuah magnet tapal kuda yang bersifat sementara terbuat dari material besi lunak (*low carbo steel*) yang memiliki retentivity rendah (*low retentivy*). [Smilie, 2000].

Pada saat yoke yang telah termagnetisasi, maka cara memagnetisasi sebuah material adalah dengan cara meletakkan yoke pada permukaan material yang akan dimagnetisasi. Flux magnet

pada kutub utara yoke melewati benda dan menginduksikan medan longitudinal secara lokal (setempat), akan tetapi medan magnet yang dihasilkan yoke tidak selalu berada pada bendanya. Sebuah medan eksternal timbul pada material yang digunakan untuk mengidentifikasi bahwa terdapat discontinuitas subsurface. [Smilie, 2000].



Gambar II.19. Longitudinal magnetization dengan menggunakan yoke. [www.nde-ed.org,2014]

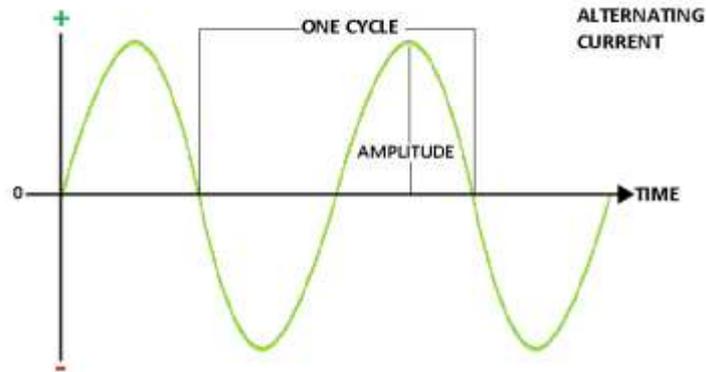
Jika magnetik partikel diaplikasikan pada dua kutub yoke, penampakan adanya discontinuitas dapat terlihat dengan jelas. Ketika konduktor pembawa arus terbentuk dalam sebuah silus (loop), garis-garis gaya mengelilingi konduktor membentuk medan magnet didalam dan diluar loop. Didalam loop, medan magnet serupa terhadap magnet batang dan dikatakan memiliki medan magnetik longitudinal. [Smilie, 2000].

II.2.6. Arus Listrik untuk Magnetisasi

Telah dijelaskan pada bagian terdapan bahwa pada proses magnetisasi sebuah material, besarnya medan magnet yang terjadi sangatlah tergantung dari besarnya arus listrik yang digunakan untuk proses magnetisasi itu. Arus listrik yang digunakan terdiri dari dua macam, yaitu arus AC dan arus DC. Karakteristik dari kedua macam arus tersebut sangat mempengaruhi hasil dari proses magnetisasi itu sendiri. [Smilie, 2000].

II.2.6.1. Arus Bolak-balik (*Alternating Current – AC*)

Arus bolak-balik sangat berguna dalam banyak aplikasi karena arus ini secara komersial tersedia dalam batas tegangan dari 110 volt sampai dengan 440 volt.

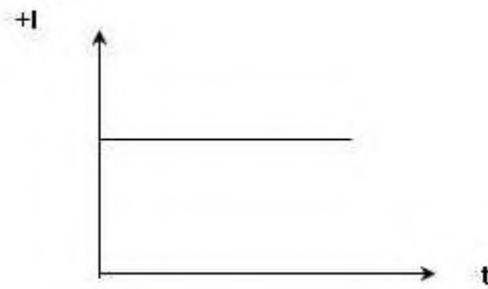


Gambar II.20. Waveform arus AC. [www.nde-ed.org,2014]

Sirkuit elektrik untuk menghasilkan arus magnet relatif sederhana dan tidak mahal karena hanya membutuhkan perpindahan tenaga listrik untuk diubah menjadi medan magnet. Pada arus bolak-balik, aliran arus yang dihasilkan ada dua macam yakni arus positif dan arus negatif, dimana diantara keduanya terjadi tiap selang waktu secara bergantian. Medan magnet yang dihasilkan oleh arus bolak-balik akan berubah seiring dengan pergantian arus positif dan negatifnya. [Smilie, 2000].

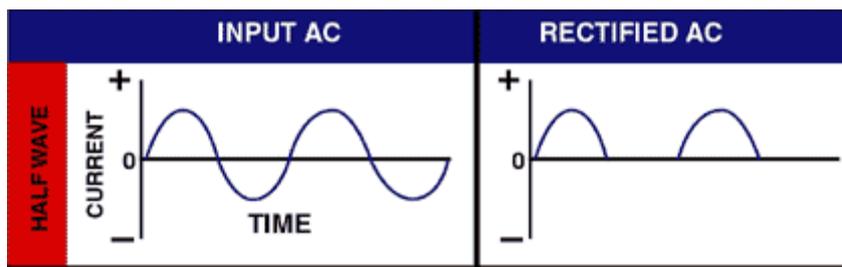
II.2.6.2. Arus Searah (*Direct Current – DC*)

Proses magnetisasi suatu material dengan menggunakan arus searah (DC), pada prinsipnya hampir sama dengan memagnetisasi material dengan menggunakan arus bolak-balik, perbedaannya adalah menyangkut pulsa arus yang terjadi diantara keduanya. Telah dijelaskan diatas bahwa pulsa arus pada AC terdiri dari dua macam yakni positif (+) dan negatif (-) yang terjadi tiap selang waktu secara bergantian. Pada arus DC, pulsa yang dihasilkannya hanya terdiri dari satu macam, yakni hanya positif saja. Pulsa arus searah ini terjadi tidak hanya dari hasil menghilangkan bagian pulsa negatifnya saja, tetapi juga membalikkannya, sehingga jumlah arus positif yang dihasilkan akan berlipat dua kali bila dibandingkan dengan yang lain, dengan demikian medan magnet yang dihasilkan akan lebih stabil. [Smilie, 2000].



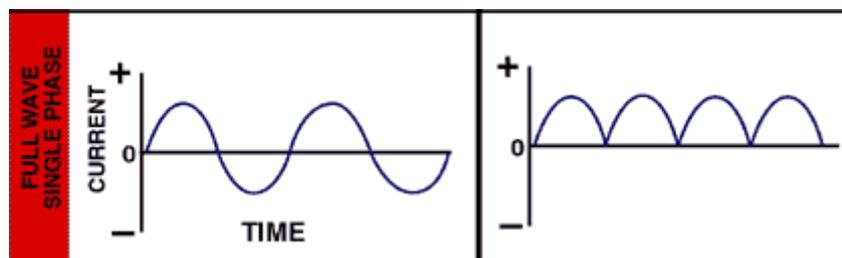
Gambar II.21. Waveform arus DC. [www.nde-ed.org,2014]

Arus AC fasa tunggal dapat disearahkan untuk menghasilkan arus AC setengah gelombang (HWAC), yang umum disebut arus DC setengah gelombang (HWDC). HWDC berarti bagian kutub negative dari kurva sinus dihilangkan. Dengan HWDC terdapat rentang antara pulsa DC tunggal dan juga rentang dimana tidak ada arus mengalir seperti dalam gambar di bawah ini.

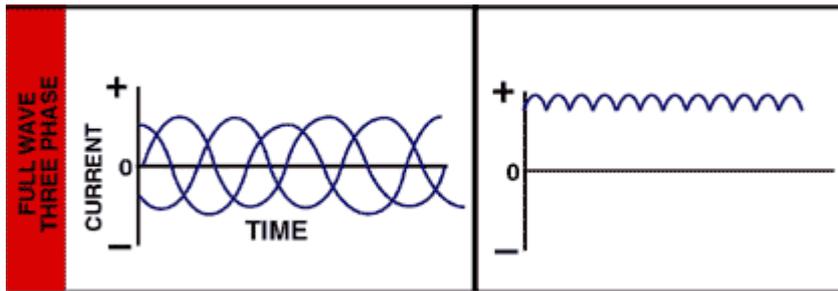


Gambar II.22. Half wave direct current (HWDC). [www.nde-ed.org,2014]

Arus DC gelombang penuh (FWDC) membalik arus negatif menjadi arus positif sehingga jumlah pulsa positif menjadi ganda.



Gambar II.23. Full wave direct current (FWDC). [www.nde-ed.org,2014]

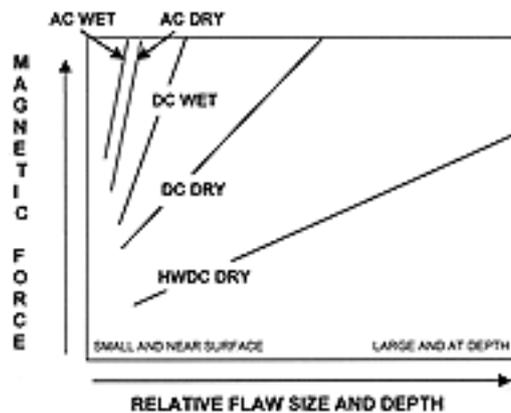


Gambar II.24. Full wave three phase. [www.nde-ed.org,2014]

AC juga terdapat dalam rangkaian tiga fase. Pada rangkaian ini terdapat tiga siklus yang mengikuti satu sama lain dengan selisih 60° . Apabila puncak-puncak ini disearahkan akan diperoleh arus DC yang halus seperti gambar di bawah ini.

II.2.7. Karakteristik Penembusan

Pada bagian terdahulu telah dibahas mengenai penggunaan arus didalam proses pengujian partikel magnetik. Arus yang digunakan ada dua yakni arus AC dan arus DC, dimana dari grafik distribusi medan pada suatu konduktor diketahui bahwa arus AC sangat baik digunakan didalam pendeteksian discontinuitas atau kerusakan yang ada pada permukaan, sedangkan untuk pendeteksian adanya discontinuitas bawah permukaan (*sub-surface*) lebih baik digunakan arus DC. [Smilie, 2000].



Gambar II.25. Kemampuan arus untuk magnetisasi. [www.nde-ed.org,2014]

Gambar di atas memperlihatkan kemampuan bermacam-macam arus dan metode pengujian partikel magnetik yang digunakan didalam mendeteksi adanya discontinuitas *sub-surface* yang terdapat pada spesimen uji berupa ring. [Smilie, 2000].

II.2.8. Partikel Magnetik

Ada dua komponen utama dari proses pengujian partikel magnet yang harus diperhatikan agar dapat memberikan hasil yang memuaskan. Yang pertama adalah proses magnetisasi yang tepat dari spesimen yang akan diuji dengan kuat medan magnet dan arah yang benar untuk pendeteksian. Sedangkan yang kedua adalah penggunaan jenis partikel magnet yang tepat, dimana pemilihan partikel ini akan memberikan dampak yang sangat signifikan dalam pengujian itu sendiri, terutama mengenai penampakan adanya indikasi discontinuitas yang terjadi pada material yang diuji. Pemilihan jenis partikel yang akan digunakan didalam pengujian akan berpengaruh terhadap kualitas penampakan indikasi adanya suatu discontinuitas. [Betz, 2000].

II.2.8.1. Partikel Kering

Pada umumnya, untuk partikel serbuk kering (*dry powder*), sensitivitas untuk menemukan adanya cacat bertambah dengan pengurangan ukuran partikel yang digunakan, tetapi dengan keterbatasan tertentu. Jika partikel yang digunakan berukuran terlalu kecil, partikel tersebut akan menunjukkan reaksi seperti debu, yang mana akan mengumpul dan menempel/melekat pada permukaan yang datar dan kelihatan licin terutama pada daerah yang lembab atau lapisan tipis yang berminyak. Pada beberapa aplikasi khusus, partikel dengan ukuran spesifik yang digunakan. Sebagai contoh, bilamana diinginkan untuk menemukan hanya yang agak besar, discontinuitas kasar, hanya partikel dengan ukuran besar yang digunakan. [Betz, 2000].

Bagaimanapun juga, sebagian besar serbuk feromagnetik kering yang digunakan untuk mendeteksi discontinuitas adalah hasil campuran yang sangat teliti dari partikel dengan berbagai ukuran. Partikel yang digunakan untuk pengujian magnetik dipilih dari bahan magnetik dengan teliti dan tepat ukuran, bentuk serta permeabilitas magnetik. Partikel ini hampir tidak terdapat magnet sisa dan mempunyai ukuran yang jauh lebih kecil dari pada serbuk besi. Pada kenyataannya, ketika partikel dalam keadaan kering berbentuk seperti serbuk/tepung. Ukuran partikel adalah faktor yang menentukan kemampuan didalam pengujian magnetik untuk mendeteksi indikasi adanya *discontinuitas surface* atau *sub-surface*. [Betz, 2000].

Pada umumnya, ukuran partikel sebaiknya tidak boleh lebih besar dari pada lebar permukaan dari discontinuitas terkecil. Ukuran partikel ini berkisar dari 7.87 μ inches (0,2 μ m) sampai 0,016 inch (0,4 mm). Partikel magnetik tersedia dalam beberapa warna, seperti hitam, biru, merah, abu-abu dan hijau warna dan ukuran partikel yang digunakan ini berubah sesuai dengan pabrikan penghasil dan penerapannya. Aplikasi dari serbuk magnetik kering ini adalah dengan

cara menaburkan pada permukaan material dan meniup untuk meratakannya pada saat arus magnetisasi dialirkan pada material tersebut. [Betz, 2000].

II.2.8.2. Partikel Basah

Ketika partikel magnetik yang digunakan adalah cairan suspensi pada media cair beberapa jenis partikel dapat digunakan. Ukuran maksimal dari partikel yang digunakan dalam metode basah untuk pengujian partikel magnetik berkisar antara 60 sampai 40 microns (antara 0.025 s/d 0,0015 inch). [Betz, 2000].

Partikel yang lebih besar dari ukuran ini sangat sulit untuk menyatu dengan cairan suspensi dan bahkan ukuran 40 s/d 60 micron akan keluar dari cairan suspensi secara cepat. Partikel dengan ukuran besar memiliki pengaruh yang kurang bagus. Saat cairan suspensi disemprotkan pada permukaan, cairan tersebut akan langsung mengering dan lapisan akan semakin menipis, partikel yang kasar akan cepat menggumpal dan sulit untuk bergerak, sehingga dengan adanya penggumpalan tersebut dapat membingungkan dengan indikasi adanya diskontinuitas pada material yang diuji. [Betz, 2000].

II.2.8.3. Partikel Fluorescent

Pada pembahasan mengenai penggunaan jenis partikel yang akan digunakan didalam pengujian magnetik, salah satunya adalah mengenai partikel fluorescent. Jenis partikel ini peka terhadap cahaya ultraviolet, dimana pada aplikasinya, partikel fluorescent akan berpendar apabila terkena cahaya ultraviolet. [Betz, 2000].

Seperti halnya dengan jenis partikel yang lain, ukuran untuk partikel fluorescent sangat menentukan kepekaan didalam mendeteksi adanya indikasi discontinuitas pada material yang diuji. Partikel fluorescent dapat diaplikasikan baik pada metode kering maupun metode basah. Untuk metode kering, ukuran partikel fluorescent berkisar antara 50 μm (0,002 inch) sedangkan untuk metode basah, ukuran partikel adalah berkisar antara 25 μm (0,001 inch). [Betz, 2000].

Pencahayaan merupakan bagian penting dari pengendalian proses. Filter cahaya ultraviolet harus diperiksa kebersihan lensanya dan kemungkinan adanya retak pada lensa. Cahaya ultraviolet dari lampu uap mercury biasanya menghasilkan intensitas lebih besar dari 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ pada jarak 38 cm. Lampu harus diperiksa pada awal tiappergantian. Tingkat kegelapan daerah pemeriksaan partikelmagnetik fluorescent juga penting. Kebanyakan spesifikasi mensyaratkan intensitas cahaya tampak tidak lebih dari 20 lux (2 fc) di daerah pemeriksaan.[Hendropresetyo,2003]

II.2.8.4. Partikel Visible

Selain partikel fluorescent, salah satu jenis partikel yang juga digunakan didalam proses pengujian partikel magnetik adalah partikel visibel. Partikel ini peka terhadap cahaya putih. Partikel visible yang digunakan didalam pengujian terdiri dari dua jenis, yakni untuk metode kering dan metode basah. [Betz, 2000].

Partikel visibel yang digunakan pada pengujian dengan metode kering ukurannya berkisar antara 50 μm (0.002 inch) sedangkan yang digunakan didalam pengujian untuk metode basah, partikel visible mempunyai ukuran yang lebih kecil lagi, dimana ukuran dari partikel fluorescent berkisar antara 25 μm (0,001 inch). Disamping itu warna dari partikel juga bervariasi, diantaranya adalah hitam, merah, hijau dan abu-abu. [Betz, 2000].

II.3. Pengujian Magnetisasi Yoke pada Tugas Akhir Sebelumnya

Pembahasan pada tugas akhir sebelumnya dilakukan untuk masing-masing metode pengujian yang dilakukan. Adapun pengujian yang dilakukan meliputi :

1. Magnetisasi yoke metode kering (*dry methode*).
 - a. Arus AC : Partikel visibel
Partikel fluorescent
 - b. Arus DC : Partikel visibel
Partikel fluorescent
2. Magnetisasi yoke metode basah (*Wet methode*).
 - a. Arus AC : Partikel visibel
Partikel fluorescent
 - b. Arus DC : Partikel visibel
Partikel fluorescent

Setelah melakukan proses pengujian partikel magnetic dan melakukan analisa dari hasil pengujian tugas akhir sebelumnya oleh Sungkono maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan pengujian magnetisasi yoke sebagai berikut. Pada pengujian magnetic metode kering, arus AC dan menggunakan partikel visibel, indikasi adanya diskontinuitas pada material tampak pada kedalaman 1 mm, 1.5 mm, 2 mm, 2.5 mm, dan 3 mm diukur dari permukaan. Pada pengujian magnetic metode kering, arus DC dan menggunakan partikel visibel, indikasi adanya diskontinuitas pada material tampak pada kedalaman 1 mm, 1.5 mm, 2 mm, 2.5 mm, 3 mm, 3.5 mm, dan 4 mm diukur dari permukaan. Pada pengujian magnetic metode kering, arus AC dan

menggunakan partikel fluorescent, indikasi adanya diskontinuitas pada material tampak pada kedalaman 1 mm, 1.5 mm, 2 mm, 2.5 mm, dan 3 mm diukur dari permukaan. Pada pengujian magnetic metode kering, arus DC dan menggunakan partikel fluorescent, indikasi adanya diskontinuitas pada material tampak pada kedalaman 1 mm, 1.5 mm, 2 mm, 2.5 mm, 3 mm, 3.5 mm, dan 4 mm diukur dari permukaan. Pada pengujian *magnetic* metode basah, arus AC dan menggunakan partikel visibel, indikasi adanya diskontinuitas pada material tampak pada kedalaman 1 mm, 1.5 mm, 2 mm, 2.5 mm, 3 mm, dan 3.5 mm diukur dari permukaan. Pada pengujian magnetic metode basah, arus DC dan menggunakan partikel visibel, indikasi adanya diskontinuitas pada material tampak pada kedalaman 1 mm, 1.5 mm, 2 mm, 2.5 mm, 3 mm, 3.5 mm, dan 4 mm diukur dari permukaan. Pada pengujian *magnetic* metode basah, arus AC dan menggunakan partikel fluorescent, indikasi adanya diskontinuitas pada material tampak pada kedalaman 1 mm, 1.5 mm, 2 mm, 2.5 mm, dan 3 mm diukur dari permukaan. Pada pengujian magnetic metode basah, arus DC dan menggunakan partikel fluorescent, indikasi adanya diskontinuitas pada material tampak pada kedalaman 1 mm, 1.5 mm, 2 mm, 2.5 mm, 3 mm, 3.5 mm, dan 4 mm diukur dari permukaan.

Dari pengujian diketahui bahwa metode MPT magnetisasi yoke yang paling efektif digunakan untuk mendeteksi diskontinuitas *sub-surface* adalah metode kering, arus DC dan menggunakan partikel visibel. [Sungkono,2007].

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

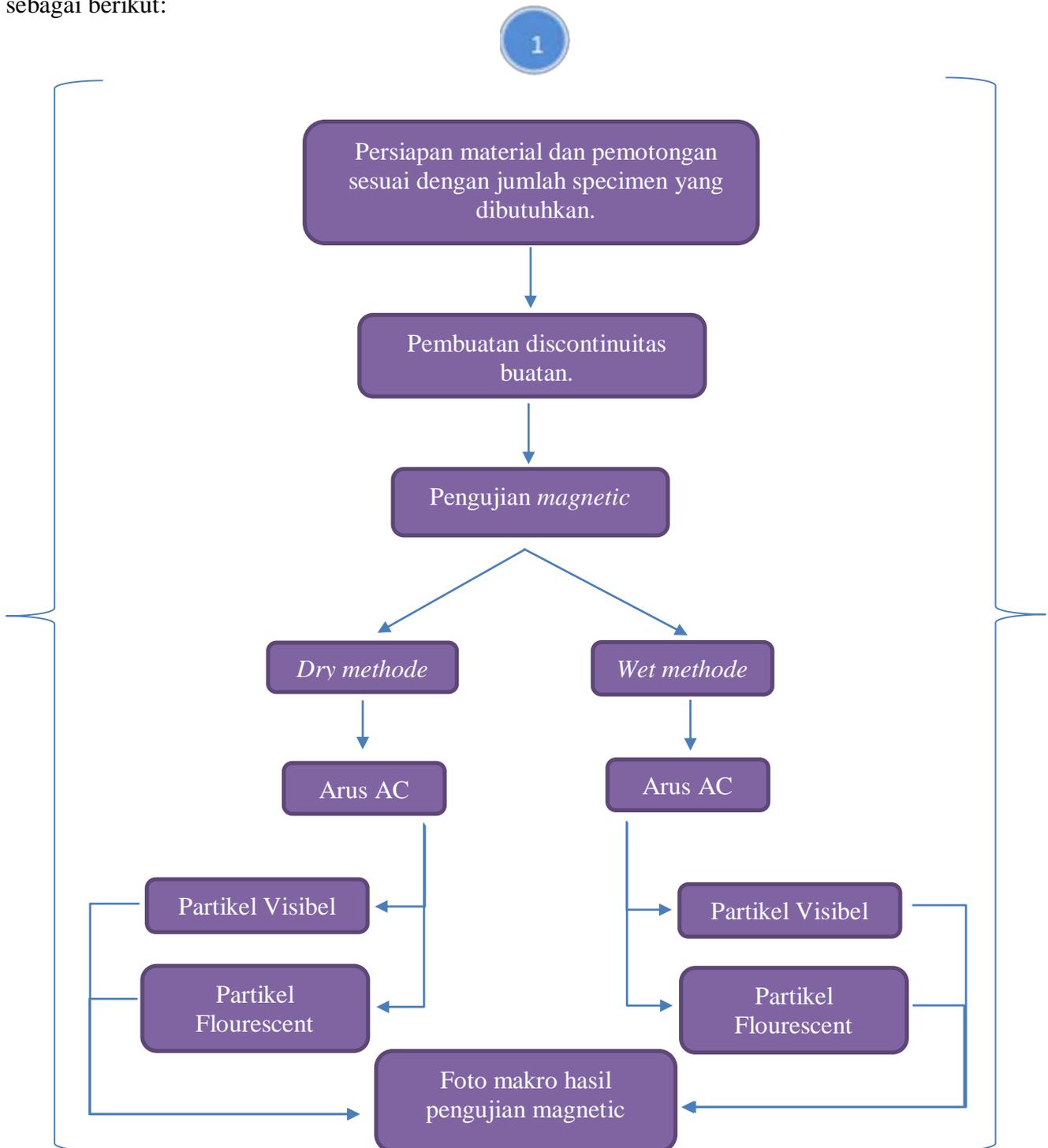
III.1. Prosedur Pelaksanaan Pengujian

Gambaran umum mengenai urutan langkah pengerjaan dapat dilihat pada diagram alir di bawah ini :



Gambar III.1 Diagram alir penelitian.

Adapun langkah-langkah pengujian yang dilakukan dapat dibuat dalam bentuk diagram sebagai berikut:



Gambar III.2 Diagram urutan proses pengujian.

Metode dan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Studi kepustakaan

Studi kepustakaan dilakukan dengan mencari dan mempelajari literature-literatur yang sesuai topic tugas akhir yang ada, sehingga dapat mempermudah dalam proses penelitian dan analisa data penelitian.

2. Pelaksanaan pengujian

Untuk melaksanakan pengujian dalam penelitian ini, ada beberapa tahap yang dilakukan, adapun tahapan tersebut antara lain adalah sebagai berikut :

- Persiapan material
- Pengujian MPT :
 - *Wet Method* : - *visible particle*
- *fluorescent particle*
 - *Dry Method* : - *visible particle*
- *fluorescent particle*

3. Analisa dan pembahasan

Analisa dan pembahasan dilakuka terhadap hasil pengujian yang dilakukan. Hasil pengujian yang dianalisa adalah sebagai berikut :

- Hasil foto pengujian untuk :
 - *Wet Method* : - *visible particle*
- *fluorescent particle*
 - *Dry Method* : - *visible particle*
- *fluorescent particle*

4. Kesimpulan

Dari hasil analisa maka diambil kesimpulan dari pengujian yang telah dilakukan.

Dalam penelitian yang dilakukan untuk menentukan pengaruh kedalaman discontinuitas sub-surface terhadap efektivitas pendeteksian dengan metode *magnetic particle test* pada logam high magnetic permeability tahapan/proses yang harus dilakukan adalah sebagai berikut:

III.1.1. Pemilihan Metode Aplikasi Partikel Magnet

Sebelum mendiskusikan aplikasinya, pemilihan metode dilakukan terlebih dahulu. Dalam menentukan metode dipengaruhi besarnya gaya magnetisasi agar tetap dipertahankan selama aplikasi media. Di dalam pengujian ini metode yang diaplikasikan yaitu menerus (*Continuous*).

III.1.2. Persiapan Material

Tahapan awal yang pertama kali harus dilakukan sebelum melakukan penelitian pengaruh kedalaman *discontinuitas sub-surface* terhadap efektivitas pendeteksian dengan metode magnetic particle test pada logam *high magnetic permeability* adalah mempersiapkan material/spesimen yang akan di uji, adapun tahapan dari persiapan material itu sendiri antara lain adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan material/spesimen dengan ukuran 300 x100 x12 mm sebanyak 6 buah.
2. Setelah persiapan material dilakukan, langkah berikutnya adalah membuat *discontinuitas sub-surface* buatan pada spesimen, untuk tiap-tiap spesimen diberikan 2 variasi kedalaman *discontinuitas sub-surface* buatan sehingga total terdapat 12 variasi kedalaman *discontinuitas sub-surface* buatan.
3. Pembersihan material harus dilakukan untuk menghilangkan serpihan-serpihan, slag, lapisan cat tebal, karat, gemuk, atau material organik lainnya yang bisa mengganggu hasil pengujian.

III.1.3. Pengujian Magnetik

Setelah persiapan material, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian magnetik, adapun pengujian yang dilaksanakan adalah dengan menggunakan 2 metode yakni metode kering (*dry method*) dan metode basah (*wet method*) untuk arus AC menggunakan partikel visibel dan fluorescent.

Berikut ini uraian masing-masing pengujian yang dilakukan :

III.1.3.1. Metode Kering

Tahapan yang dilakukan dalam pengujian magnetik dengan metode kering adalah sebagai berikut :

- a) Permukaan material diperiksa dan daerah didekatnya pada jarak minimum 25 mm harus dibersihkan dari gemuk, minyak, dan kotoran-kotoran dengan lap dan *wire brush*. Benda kerja dibersihkan dengan kain lap yang diberi thinner A untuk penghilangan cat.
- b) Disemprotkan WPC-2 pada material dan field indikator.
- c) Dilakukan pengukuran intensitas cahaya (untuk partikel visibel digunakan *light meter*, dengan intensitas minimum adalah 1000 lux, sedangkan untuk partikel fluorescent digunakan *UV light meter* dengan intensitas minimum 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$).
- d) Menyalakan Trafo Prod menuju no. 3 yang artinya 1000 ampere.

- e) Peralatan prod ditempelkan pada permukaan material dengan posisi ujung prod menyilang tegak lurus terhadap arah discontinuitas pada material, usahakan jarak antar ujung prod terhadap discontinuitas adalah 100 mm dan dipastikan bahwa arus yang dipakai sesuai dengan metode yang digunakan (dengan ditekan switch pada bagian belakang prod, sehingga switch menunjuk pada arus yang dipilih).
- f) Nyalakan peralatan prod dengan tombol *on/off* ditekan.
- g) Pengujian dilakukan dengan cara ditaburkan serbuk partikel magnetik (visibel atau fluorescent) pada material dan diratakan dengan cara meniup dan diamati pada permukaan indikasi adanya discontinuitas pada material tersebut.
- h) Dilakukan pengambilan gambar, digunakan kamera digital pada material yang menunjukkan penampakan adanya discontinuitas. Gambar yang diambil difokuskan pada sekitar area penampakan terjadinya discontinuitas.
- i) Ulangi proses a s/d h untuk discontinuitas yang kedua.
- j) Ulangi proses pengujian berikutnya dari point a s/d i untuk tiap-tiap spesimen.

III.1.3.2. Metode Basah

Tahapan yang dilakukan dalam pengujian magnetik dengan metode basah adalah sebagai berikut :

- a) Permukaan material diperiksa dan daerah didekatnya pada jarak minimum 25 mm harus dibersihkan dari gemuk, minyak, dan kotoran-kotoran dengan lap dan *wire brush*. Benda kerja dibersihkan dengan kain lap yang diberi thinner A untuk penghilangan cat.
- b) Semprotkan WPC-2 pada material dan field indikator.
- c) Dilakukan pengukuran intensitas cahaya (untuk partikel visibel digunakan *light meter*, dengan intensitas minimum adalah 1000 lux, sedangkan untuk partikel fluorescent digunakan *UV light meter* dengan intensitas minimum $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$).
- d) Trafo Prod dinyalakan menuju no. 3 yang artinya 1000 ampere.
- e) Peralatan prod ditempelkan pada permukaan material dengan posisi ujung prod menyilang tegak lurus terhadap arah discontinuitas pada material, usahakan jarak antar ujung prod terhadap discontinuitas adalah 100 mm dan pastikan bahwa arus yang dipakai sesuai dengan metode yang digunakan (dengan switch ditekan pada bagian belakang prod, sehingga switch menunjuk pada arus yang dipilih).
- f) Dinyalakan peralatan prod dengan tombol *on/off* ditekan.

- g) Pengujian dilakukan dengan cara serbuk partikel magnetik ditaburkan (visibel atau fluorescent) pada material dan diratakan dengan cara meniup dan diamati pada permukaan indikasi adanya discontinuitas pada material tersebut.
- h) Dilakukan pengambilan gambar, digunakan kamera digital pada material yang menunjukkan penampakan adanya discontinuitas. Gambar yang diambil difokuskan pada sekitar area penampakan terjadinya discontinuitas.
- i) Ulangi proses a s/d h untuk discontinuitas yang kedua.
- j) Ulangi proses pengujian berikutnya dari point a s/d i untuk tiap-tiap spesimen.

III.2. Peralatan Penelitian

Setiap tahap dalam proses penelitian menggunakan peralatan yang memiliki fungsi berbeda-beda untuk setiap tahapan penelitian. Adapun peralatan yang dipakai pada tahapan penelitian ini antara lain :

III.2.1. Peralatan dan Bahan Pengujian

Pada tahap proses persiapan material, peralatan yang digunakan adalah :

1. Mesin Gergaji

Mesin gergaji merupakan alat perkakas yang berguna untuk memotong benda kerja (spesimen).



Gambar III.3. Mesin gergaji.

Seperti pada gambar III.1. Mesin gergaji merupakan mesin pertama yang menentukan proses lebih lanjut. Hasil potongan yang didapatkan dari mesin gergaji ini masih sangat kasar sehingga

diperlukan proses lebih lanjut agar didapatkan material yang benar-benar siap untuk dilakukan proses berikutnya.

2. Mesin Wire Cut

Seperti pada gambar III.2. di bawah, mesin Wire Cut digunakan untuk membuat *discontinuitas sub-surface* buatan pada material yang akan digunakan didalam penelitian.



Gambar III.4. Mesin wire cut.

Digunakannya peralatan ini untuk membuat *discontinuitas* buatan adalah karena mesin memiliki tingkat ketelitian yang sangat tinggi (0.050~0.150 mm), sehingga dimensi *discontinuitas sub-surface* yang dihasilkan betul-betul persis, karena didalam pelaksanaan penelitian ini, ketelitian dari *discontinuitas sub-surface* buatan sangat diperlukan. Lebar dari *discontinuitas* buatan ini adalah 1 mm.

3. Mesin Gerinda

Seperti pada gambar III.3. di bawah, mesin gerinda digunakan untuk menghilangkan cat, kotoran dan menghaluskan bagian-bagian dari material yang masih kasar. Penggerindaan dilakukan karena material yang telah dipotong dengan mesin gergaji ini masih menyisakan bentuk yang sangat tajam pada sisi-sisinya.



Gambar III.5. Mesin gerinda.

Digunakan dua jenis mata gerinda untuk pengerjaannya, yakni cutting wheel (kasar) untuk awal pengerjaan dan flap disc grade 120 untuk proses finishing. Mesin gerinda yang digunakan pada pengujian ini adalah merek Bosch tipe GWS 6-100 Profesional.

4. Penjepit (klem)

Seperti pada gambar III.4. di bawah, klem digunakan untuk menjaga material agar tidak bergerak dengan cara dijepit sehingga memudahkan pada saat memproses material tersebut terutama pada saat menghaluskan dengan gerinda.



Gambar III.6. Penjepit (klem).

Klem juga dapat digunakan untuk menahan benda uji yang panas akibat proses penggerindaan. Penggunaannya dengan cara memutar tuas klem untuk mengencangkan dan meregangkan kedua sisi klem.

5. Jangka Sorong

Seperti pada gambar III.5. di bawah, jangka sorong digunakan untuk pengukuran pada material yang akan dipotong, terutama untuk menandai gap/celah pada material yang akan diberikan *discontinuitas sub-surface* buatan.

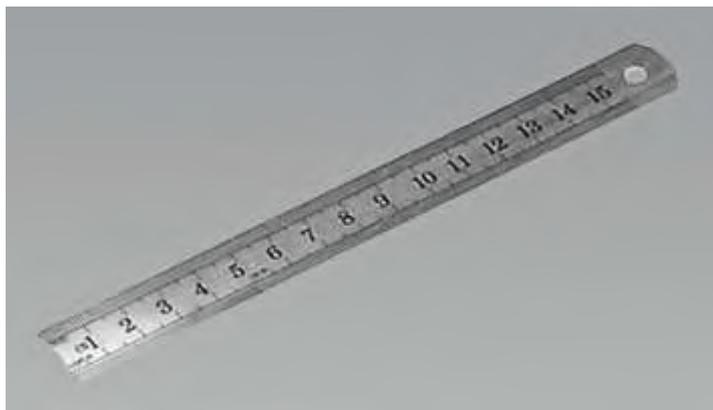


Gambar III.7. Jangka sorong.

Umumnya tingkat ketelitian jangka sorong adalah 0.05 mm untuk jangka sorong di bawah 30 cm dan 0.01 mm untuk yang di atas 30 cm. Pengukuran jangka sorong dilakukan dengan cara dijepitkan.

6. Mistar Ukur

Seperti pada gambar III.6. di bawah, mistar ukur digunakan untuk mengukur besaran panjang terhadap material/spesimen yang akan dipotong.



Gambar III.8. Mistar ukur.

Panjang maksimum yang dapat diukur dari mistar ukur di atas sebesar 30 cm.

7. Peralatan Lampu TL

Seperti pada gambar III.7. di bawah, lampu berfungsi untuk menyediakan cahaya yang akan digunakan pada saat pengujian.



Gambar III.9. Lampu TL.

Cahaya yang dihasilkan dari lampu ini akan digunakan untuk pengujian dengan menggunakan partikel visibel, dimana intensitas cahaya minimum yang harus dipenuhi oleh penggunaan lampu ini adalah 1000 lux.

8. Light Meter

Seperti pada gambar III.8. di bawah, light meter digunakan untuk mengukur intensitas cahaya apakah sudah memenuhi persyaratan untuk dilakukannya pengujian.



Gambar III.10. Light meter.

Light meter yang digunakan pada pengujian ini adalah merek Iso-Tech 1335 Light Meter. Intensitas cahaya minimum yang harus tersedia pada lampu yang digunakan adalah 1000 lux.

9. Prod

Seperti pada gambar III.9. di bawah, prod digunakan untuk memagnetisasi material pada saat pengujian berlangsung, dimana medan magnet yang dihasilkan adalah medan magnet circular.



Gambar III.11. Prod.

Untuk proses pengujian ini digunakan prod pada arus 1000 Amp. Prod yang digunakan ini dapat diaplikasikan untuk arus AC.

10. Kamera Digital

Seperti pada gambar III.10. di bawah, kamera digital digunakan untuk mengambil gambar pada saat proses pengujian berlangsung.



Gambar III.12. Kamera digital.

Dipilih kamera dengan tingkat resolusi yang tinggi agar kualitas gambar yang dihasilkan benar-benar sempurna, sehingga akan memudahkan pada saat dilakukannya analisa terhadap hasil pengujian itu. Kamera yang digunakan pada penelitian ini adalah Canon EOS M.

11. Peralatan Lampu Ultraviolet (UV Light)

Seperti pada gambar III.11. di bawah, lampu digunakan untuk menghasilkan cahaya ultraviolet, dimana pada pengujian dengan menggunakan partikel fluorescent, partikel ini peka terhadap cahaya ultraviolet, sehingga penampakan adanya *discontinuitas sub-surface* dapat diamati dibawah cahaya ini.



Gambar III.13. Lampu ultraviolet (UV light).

Peralatan lampu ultraviolet yang digunakan adalah merek Tiede dengan intensitasnya dapat melebihi $1000\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

12. UV Light Meter

Seperti pada gambar III.12. di bawah, UV Light meter digunakan untuk mengukur intensitas cahaya ultraviolet yang dihasilkan oleh peralatan lampu ultraviolet apakah sudah memenuhi untuk dilakukannya pengujian.



Gambar III.14. UV light meter.

UV light meter yang digunakan adalah merek Lutron UV-340A. Intensitas cahaya minimum adalah $1000\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

III.3. Bahan Penelitian

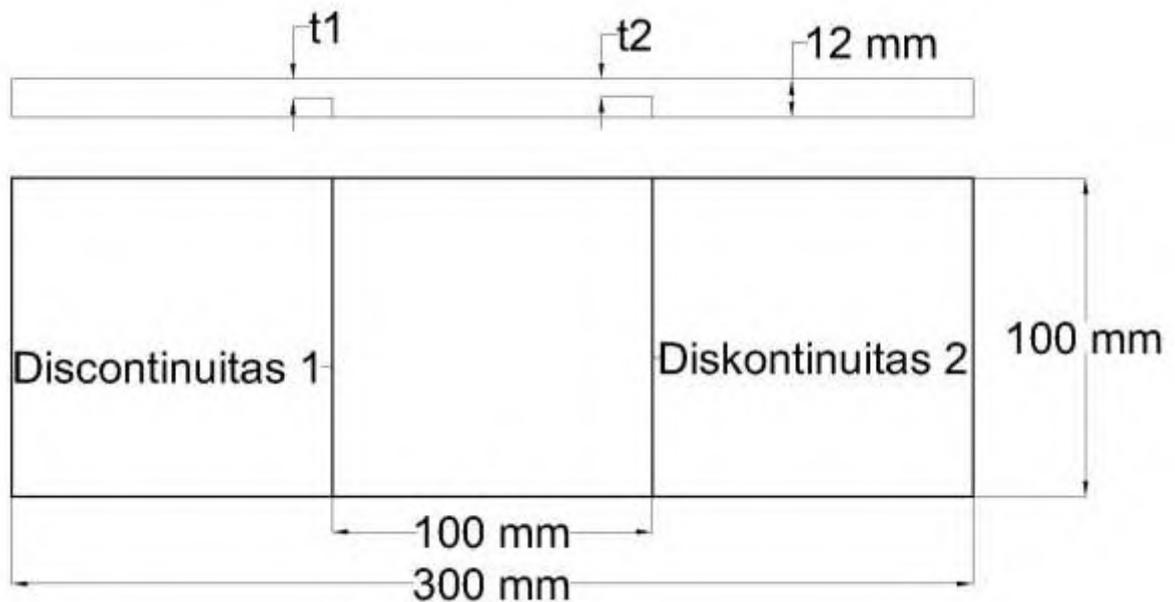
Disamping diperlukannya peralatan serta perlengkapan yang digunakan selama proses penelitian, hal lain yang tak kalah penting dengan peralatan dan perlengkapan penelitian adalah mengenai bahan penelitian.

Bahan penelitian mempunyai arti yang penting pada suatu proses penelitian karena keberadaannya yang merupakan satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan pada proses penelitian itu sendiri.

Adapun bahan penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut :

III.3.1. Material Uji

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis baja karbon SS 41, yang merupakan salah satu jenis material *high magnetic permeability*.



Gambar III.15. Spesimen uji.

Berikut ini variasi kedalaman dari setiap specimen:

Tabel III-1. Variasi kedalaman discontinuitas.

Specimen	Discontinuitas 1 (mm)	Discontinuitas (mm)
Material 1	1	1.5
Material 2	2	2.5
Material 3	3	3.5
Material 4	4	4.5
Material 5	5	5.5
Material 6	6	6.5

Specimen mempunyai ukuran 300 x100 x12 mm. Specimen yang digunakan berjumlah 6 buah, dimana pada setiap specimen terdapat 2 variasi kedalaman *discontinuitas sub-surface* (kedalaman diukur dari permukaan), sehingga terdapat 12 macam variasi kedalaman *discontinuitas sub-surface*.

III.3.2. Partikel untuk Metode Kering (Dry Methode)

Pada pengujian yang dilakukan dengan metode kering (*dry methode*) jenis partikel yang digunakan ada 2 macam, yakni untuk jenis partikel visibel dan jenis partikel fluorscent. Penggunaan dari masing-masing partikel ini mempengaruhi hasil pengujian yang dilakukan. Berikut ini adalah jenis partikel yang digunakan pada pengujian dengan metode kering (*dry methode*) :

1. Partikel Visibel (*Visible Particle*)

Pada pengujian untuk metode kering pada arus AC partikel visible yang digunakan adalah serbuk magnetik (*magnetic powder*) berupa serbuk besi oksida dan menggunakan warna merah.



Gambar III.16. Serbuk magnetik artikel visibel.



Gambar III.17. White contrast paint (WCP).

Sedangkan untuk lapisan pada permukaan material dipakai *White Contrast Paint* (WCP). Adapun partikel magnetik yang digunakan adalah merek Parker-USA sedangkan untuk WCP digunakan Magnaflux WCP-2.

2. Partikel Fluorescent (*Fluorescent Particle*)

Pada pengujian untuk metode kering pada arus AC partikel fluorescent yang digunakan adalah serbuk fluorescent (*fluorescent powder*) dari serbuk besi oksida dengan lapisan warna abu-abu.



Gambar III.18. Serbuk magnetik partikel fluorescent.

Partikel fluorescent yang digunakan adalah merek Tiede, dimasukkan wadah yang memudahkan dilakukannya penyemprotan.

III.3.3. Partikel untuk Metode Basah (*Wet Methode*)

Seperti halnya pada pengujian untuk metode kering (*dry methode*), jenis partikel yang digunakan untuk pengujian dengan menggunakan metode basah (*wet methode*) juga ada dua macam, yakni jenis partikel visible dan partikel fluorescent. Penggunaan jenis partikel diantara keduanya akan sangat berpengaruh terhadap hasil pengujian yang dilakukan.

Berikut ini adalah jenis partikel yang digunakan pada pengujian dengan metode basah (*wet methode*) :

1. Partikel Visibel (*Visible Particle*)

Pada pengujian untuk metode basah pada arus AC, partikel visible yang digunakan adalah larutan suspensi besi oksida, dimana komposisi penyusun larutan suspensi ini adalah *white mineral oil*, *isobutane*, dan *iron oxide*.



Gambar III.19. Larutan *wet visible*.

Adapun partikel yang digunakan adalah merek Magnaflux 7HF.

2. Partikel Fluorescent (*Fluorescent Particle*)

Pengujian untuk metode basah pada arus AC, partikel fluorescent yang digunakan adalah konsentrat fluorescent (*fluorescent concentrate*) dari besi oksida yang diberi lapisan pewarna.



Gambar III.20. *Wet fluorescent*.

Cara menggunakan partikel ini terlebih dahulu harus dibuat larutannya, yaitu dengan cara dicampurkan dengan air dengan perbandingan 1 : 10. Jenis partikel fluorescent yang digunakan adalah merek Magnaflux.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Berikut ini akan dilakukan analisa dan pembahasan terhadap hasil pengujian partikel magnetic yang telah dilakukan sebelumnya. Pengujian yang dilakukan dengan menggunakan metode kering (*dry methode*) dan metode basah (*wet methode*). Pembahasan dilakukan untuk masing-masing metode pengujian yang dilakukan. Adapun pengujian yang dilakukan meliputi:

1. Metode kering (*dry methode*).

Arus AC: Partikel visibel

Partikel fluorescent

2. Metode basah (*Wet methode*).

Arus AC: Partikel visibel

Partikel fluorescent

IV.1. Pengujian Magnetik Metode Kering

Di dalam hasil pengujian *magnetic* metode kering di bagi menjadi 2, yaitu partikel visibel dan partikel fluorescent.

IV.1.1. Dry Methode, AC, Partikel Visibel

Foto makro partikel visibel arus AC pada intensitas cahaya 1000 lux besarnya kedalaman penembusan discontinuitas seperti dibawah ini.

a. $t = 1$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode kering (*dry methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel visibel untuk kedalaman $t = 1$ mm terlihat bahwa serbuk partikel magnetik terkumpul merata pada sepanjang alur discontinuitas yang terjadi seperti yang terlihat pada gambar IV.1, hal ini menandakan bahwa kebocoran medan magnet yang terjadi pada daerah tersebut sangat besar, sehingga memungkinkan tertariknya partikel magnet disekitar lokasi indikasi discontinuitas *sub-surface* sangat banyak.



Gambar IV.1. Hasil pengujian untuk *dry visibel* $t=1.0$ mm.

Banyaknya partikel yang tertarik juga dapat menandakan bahwa medan magnet pada lokasi discontinuitas sub-surface sangat besar. Terlihat juga pada gambar alur garis warna terang yang mengindikasikan adanya discontinuitas pada lokasi tersebut. Jarak antar kaki prod pada pengujian ini adalah 100 mm.

b. $t = 1.5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode kering (*dry methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel visibel untuk kedalaman $t = 1.5$ mm, terlihat pada gambar IV.2 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material dan tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi.



Gambar IV.2. Hasil pengujian untuk *dry visibel* $t=1.5$ mm.

Hal ini dikarenakan besarnya medan magnet tidak dapat menjangkau kedalaman discontinuitas. Jarak antar kaki prod adalah 100 mm.

c. $t = 2$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode kering (*dry methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel visibel untuk kedalaman $t = 2$ mm, terlihat pada gambar IV.3 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material dan tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi



Gambar IV.3. Hasil pengujian untuk *dry visibel* $t=2.0$ mm.

Hal ini dikarenakan besarnya medan magnet tidak dapat menjangkau kedalaman discontinuitas. Jarak antar kaki prod adalah 100 mm.

d. $t = 2.5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode kering (*dry methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel visibel untuk kedalaman $t = 2.5$ mm. terlihat pada gambar IV.4 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material dan tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi.



Gambar IV.4. Hasil pengujian untuk *dry visibel* $t=2.5$ mm.

Hal ini dikarenakan besarnya medan magnet tidak dapat menjangkau kedalaman discontinuitas. Jarak antar kaki prod adalah 100 mm.

e. $t = 3$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode kering (*dry methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel visibel untuk kedalaman $t = 3$ mm terlihat pada gambar IV.5. tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material dan tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi.



Gambar IV.5. Hasil pengujian untuk *dry visibel* $t=3.0$ mm.

Hal ini dikarenakan besarnya medan magnet tidak dapat menjangkau kedalaman discontinuitas. Jarak antar kaki prod adalah 100 mm.

f. $t = 3.5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode kering (*dry methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel visibel untuk kedalaman $t = 3.5$ mm, terlihat bahwa tidak ada partikel yang terkumpul, terutama pada bagian tengah spesimen, hal ini terlihat sangat jelas pada gambar IV.6. bagian kanan.



Gambar IV.6. Hasil pengujian untuk *dry visibel* $t=3.5$ mm.

Sehingga untuk kedalaman 3.5 mm sudah tidak tampak lagi indikasi adanya discontinuitas dan tidak ada pengaruh adanya kebocoran medan magnet. Pada pengujian ini jarak antar kaki prod adalah 100 mm.

g. $t = 4$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode kering (*dry methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel visibel untuk kedalaman $t = 4$ mm, terlihat pada gambar IV.7. tidak tampak indikasi adanya discontinuitas pada material.



Gambar IV.7. Hasil pengujian untuk *dry visibel* $t=4.0$ mm.

Tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet terhadap terkumpulnya partikel magnetik. Jarak antar kaki prod adalah 100 mm.

h. $t = 4.5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode kering (*dry methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel visibel untuk kedalaman $t = 4.5$ mm, terlihat pada gambar IV.8 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material dan tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi.



Gambar IV.8. Hasil pengujian untuk *dry visibel* $t=4.5$ mm.

Hal ini dikarenakan besarnya medan magnet tidak dapat menjangkau kedalaman discontinuitas. Jarak antar kaki prod adalah 100 mm.

i. $t = 5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode kering (*dry methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel visibel untuk kedalaman $t = 5$ mm, terlihat pada gambar IV.9 tidak tampak adanya discontinuitas pada material dan tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi.



Gambar IV.9. Hasil pengujian untuk *dry visibel* $t=5.0$ mm.

Hal ini dikarenakan besarnya medan magnet tidak dapat menjangkau kedalaman discontinuitas. Jarak antar kaki prod adalah 100 mm.

j. $t = 5.5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode kering (*dry methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel visibel untuk kedalaman $t = 5.5$ mm, terlihat pada gambar IV.10 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material dan tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi.



Gambar IV.10. Hasil pengujian untuk *dry visibel* $t=5.5$ mm.

Hal ini dikarenakan besarnya medan magnet tidak dapat menjangkau kedalaman discontinuitas. Jarak antar kaki prod adalah 100 mm.

k. $t = 6$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode kering (*dry methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel visibel untuk kedalaman $t = 6$ mm, pada gambar IV.11 tidak tampak indikasi adanya discontinuitas pada material dan tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi.



Gambar IV.11. Hasil pengujian untuk *dry visibel* t=6.0 mm.

Hal ini dikarenakan besarnya medan magnet tidak dapat menjangkau kedalaman discontinuitas. Jarak antar kaki prod adalah 100 mm.

l. t = 6.5 mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode kering (*dry methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel visibel untuk kedalaman $t = 6.5$ mm, terlihat pada gambar 4.12 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material dan tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi.



Gambar IV.12. Hasil pengujian untuk *dry visibel* t=6.5 mm.

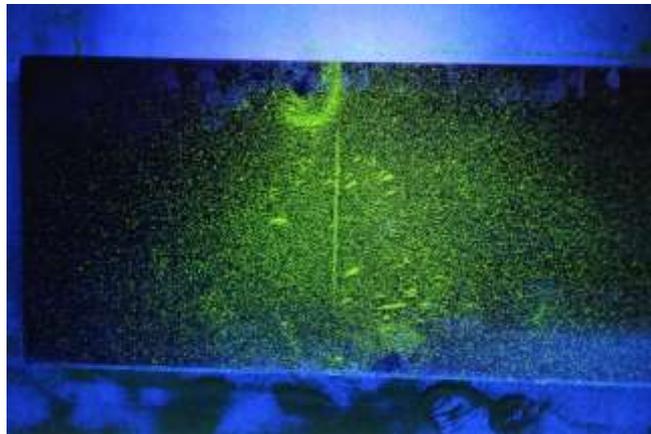
Hal ini dikarenakan besarnya medan magnet tidak dapat menjangkau kedalaman discontinuitas. Jarak antar kaki prod adalah 100 mm.

IV.1.2. Dry Methode, AC, Partikel Fluorescent

Pada partikel fluorescent arus AC dapat dianalisa seperti pada foto makro di bawah menurut besarnya kedalaman penembusan discontinuitas.

a. $t = 1$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode kering (*dry methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel fluorescent untuk kedalaman $t = 1$ mm. Penyebaran partikel magnetik merata sepanjang alur discontinuitas yang terjadi, pada gambar IV.13 terlihat bahwa indikasi adanya discontinuitas sub-surface ditandai dengan adanya garis tebal warna hijau yang merupakan partikel fluorescent.

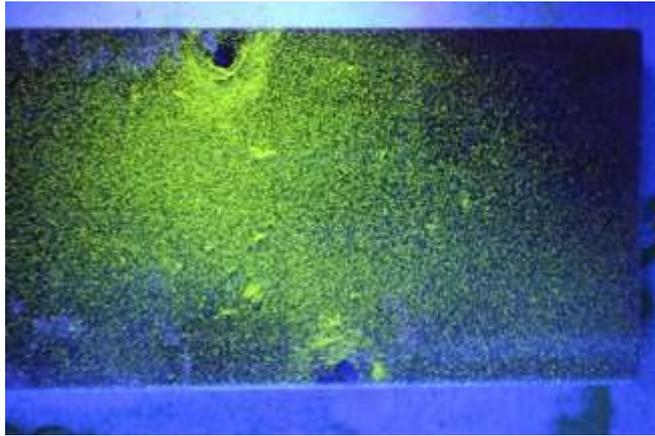


Gambar IV.13. Hasil pengujian untuk *dry fluorescent* $t=1.0$ mm.

Untuk kedalaman 1 mm terlihat sangat jelas penyebarannya serbuk partikel magnetik fluorescent. Jarak antar kaki prod 100 mm.

b. $t = 1.5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode kering (*dry methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel fluorescent untuk kedalaman $t = 1.5$ mm, pada gambar IV.14 terlihat tidak tampak adanya indikasi discontinuitas yang terjadi pada material dan tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi

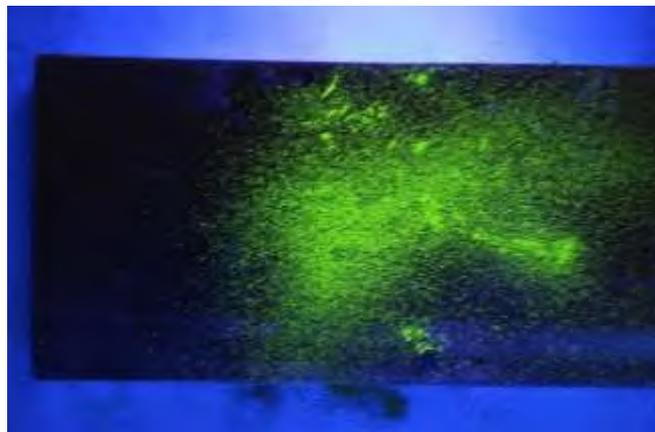


Gambar IV.14. Hasil pengujian untuk *dry fluorescent* $t=1.5$ mm.

Hal ini dikarenakan besarnya medan magnet tidak dapat menjangkau kedalaman discontinuitas. Jarak antar kaki prod adalah 100 mm.

c. $t = 2$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode kering (*dry methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel fluorescent untuk kedalaman $t = 2$ mm, terlihat pada gambar IV.15 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas yang terjadi pada material dan tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi.

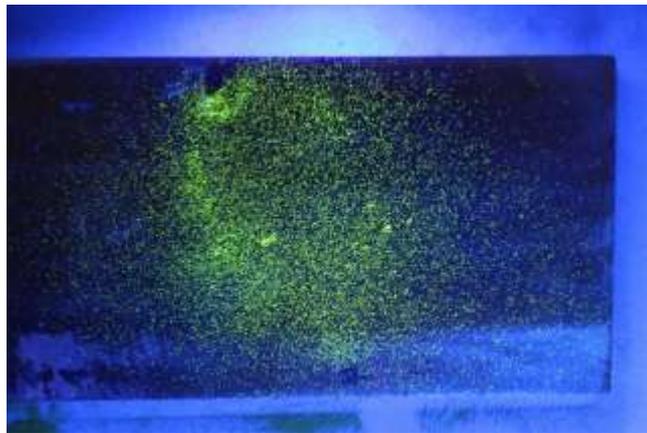


Gambar IV.15. Hasil pengujian untuk *dry fluorescent* $t=2.0$ mm.

Hal ini dikarenakan besarnya medan magnet tidak dapat menjangkau kedalaman discontinuitas. Jarak antar kaki prod adalah 100 mm.

d. $t = 2.5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode kering (*dry methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel fluorescent untuk kedalaman $t = 2.5$ mm, terlihat pada gambar IV.16 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas yang terjadi pada material dan tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi.

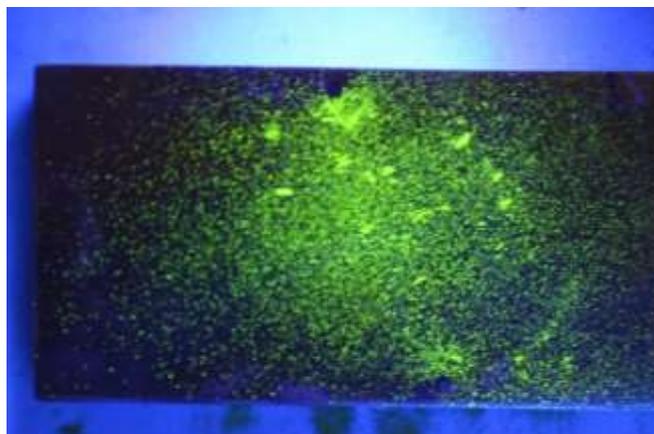


Gambar IV.16. Hasil pengujian untuk *dry fluorescent* $t=2.5$ mm.

Hal ini dikarenakan besarnya medan magnet tidak dapat menjangkau kedalaman discontinuitas. Jarak antar kaki prod adalah 100 mm.

e. $t = 3$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode kering (*dry methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel fluorescent untuk kedalaman $t = 3$ mm, terlihat pada gambar IV.17 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas yang terjadi pada material dan tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi.

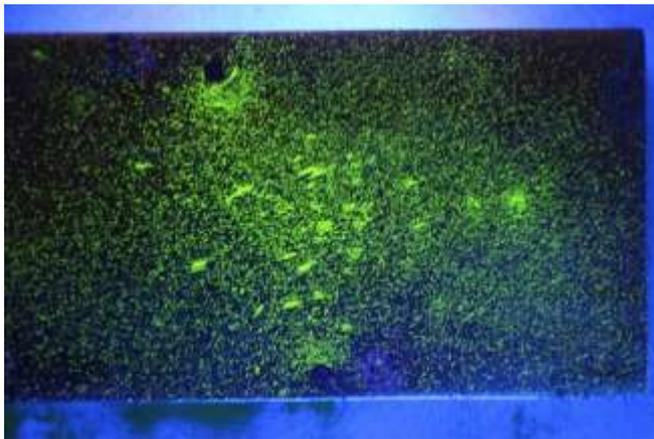


Gambar IV.17. Hasil pengujian untuk *dry fluorescent* $t=3.0$ mm.

Hal ini dikarenakan besarnya medan magnet tidak dapat menjangkau kedalaman discontinuitas. Jarak antar kaki prod adalah 100 mm.

f. $t = 3.5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode kering (*dry methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel fluorescent untuk kedalaman $t = 3.5$ mm terlihat pada gambar IV.18 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas yang terjadi pada material dan tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi.

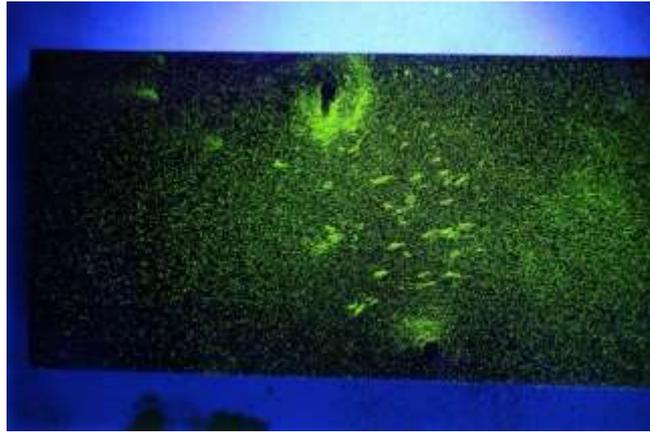


Gambar IV.18. Hasil pengujian untuk *dry fluorescent* $t=3.5$ mm.

Hal ini dikarenakan besarnya medan magnet tidak dapat menjangkau kedalaman discontinuitas. Jarak antar kaki prod adalah 100 mm.

g. $t = 4$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode kering (*dry methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel fluorescent untuk kedalaman $t = 4$ mm terlihat pada gambar IV.19 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas yang terjadi pada material dan tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi.

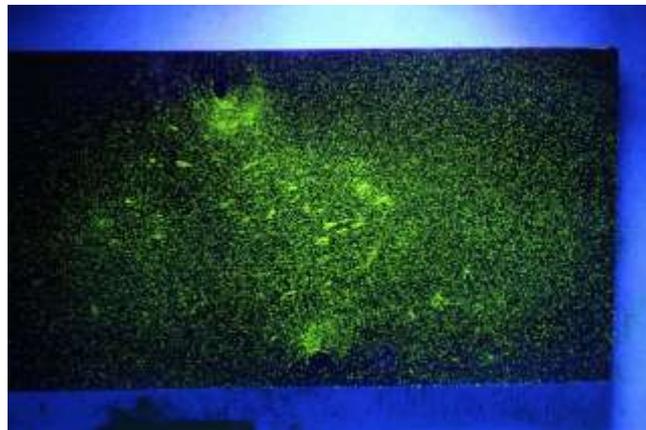


Gambar IV.19. Hasil pengujian untuk *dry fluorescent* $t=4.0$ mm.

Hal ini dikarenakan besarnya medan magnet tidak dapat menjangkau kedalaman discontinuitas. Jarak antar kaki prod adalah 100 mm.

h. $t = 4.5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode kering (*dry methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel fluorescent untuk kedalaman $t = 4.5$ mm pada gambar IV.20 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas yang terjadi pada material dan tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi.



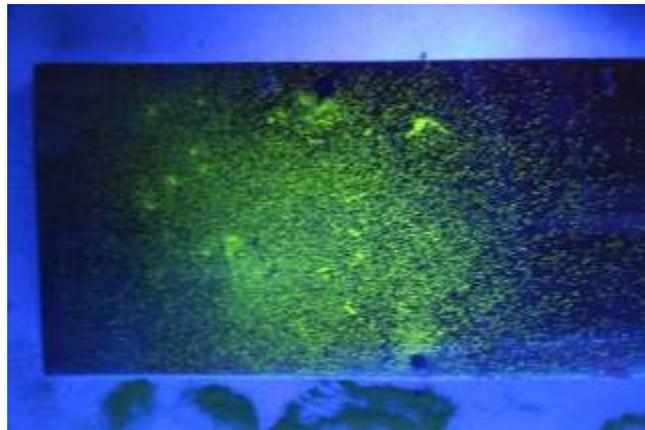
Gambar IV.20. Hasil pengujian untuk *dry fluorescent* $t=4.5$ mm.

Hal ini dikarenakan besarnya medan magnet tidak dapat menjangkau kedalaman discontinuitas. Jarak antar kaki prod adalah 100 mm.

i. $t = 5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode kering (*dry methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel fluorescent untuk kedalaman $t = 5$ mm, terlihat pada gambar IV.21 tidak

tampak adanya indikasi discontinuitas yang terjadi pada material dan tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi.

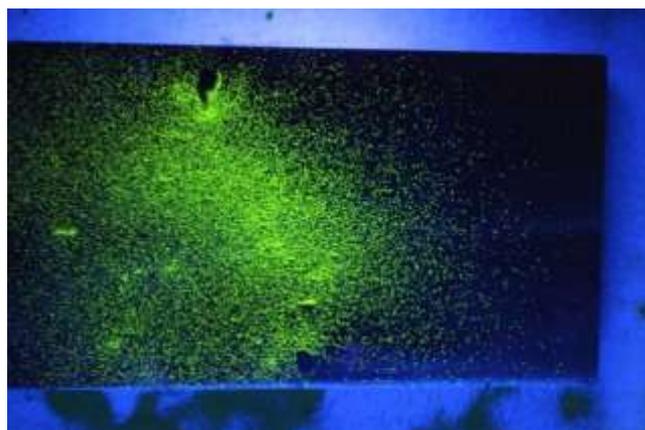


Gambar IV.21. Hasil pengujian untuk *dry fluorescent* $t=5.0$ mm.

Hal ini dikarenakan besarnya medan magnet tidak dapat menjangkau kedalaman discontinuitas. Jarak antar kaki prod adalah 100 mm.

j. $t = 5.5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode kering (*dry methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel fluoresecent untuk kedalaman $t = 5.5$ mm terlihat pada gambar IV.22 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas yang terjadi pada material dan tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi.

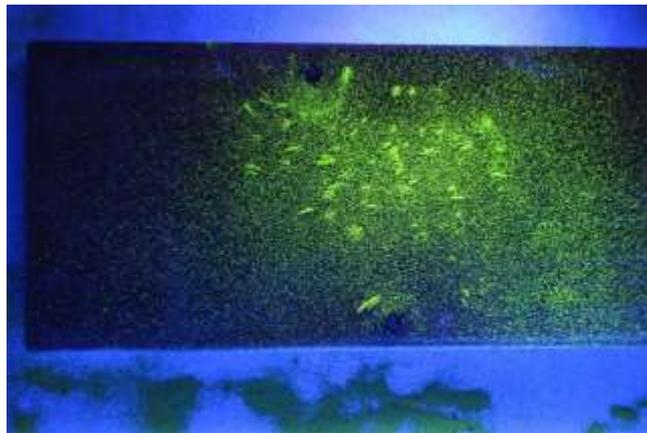


Gambar IV.22. Hasil pengujian untuk *dry fluorescent* $t=5.5$ mm.

Hal ini dikarenakan besarnya medan magnet tidak dapat menjangkau kedalaman discontinuitas. Jarak antar kaki prod adalah 100 mm.

k. $t = 6$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode kering (*dry methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel fluorescent untuk kedalaman $t = 6$ mm, pada gambar IV.23 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas yang terjadi pada material dan tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi.

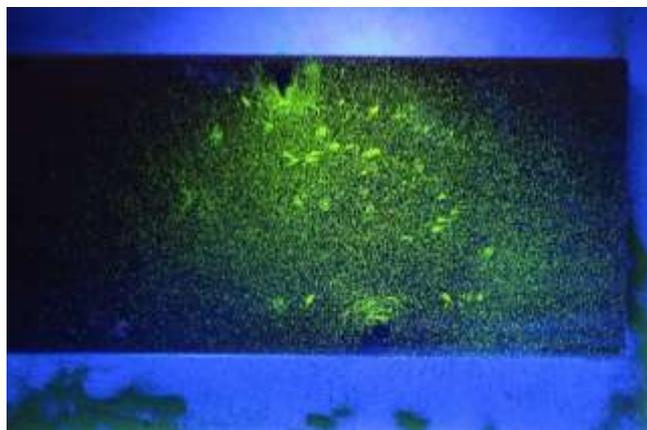


Gambar IV.23. Hasil pengujian untuk *dry fluorescent* $t=6.0$ mm.

Hal ini dikarenakan besarnya medan magnet tidak dapat menjangkau kedalaman discontinuitas. Jarak antar kaki prod adalah 100 mm.

l. $t = 6.5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode kering (*dry methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel fluorescent untuk kedalaman $t = 6.5$ mm terlihat pada gambar IV.24 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas yang terjadi pada material dan tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi.



Gambar IV.24. Hasil pengujian untuk *dry fluorescent* $t=6.5$ mm.

Hal ini dikarenakan besarnya medan magnet tidak dapat menjangkau kedalaman discontinuitas. Jarak antar kaki prod adalah 100 mm.

IV.2. Pengujian Magnetik Metode Basah

Di dalam hasil pengujian magnetic metode basah di bagi menjadi 2, yaitu partikel visibel dan partikel fluorescent

IV.2.1. Wet Methode, AC, Partikel Visibel

Foto makro partikel visibel arus AC pada intensitas cahaya 1000 lux besarnya kedalaman penembusan discontinuitas seperti dibawah ini.

a. $t = 1$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode basah (*wet methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel visibel untuk kedalaman $t = 1$ mm, partikel magnetik yang terkumpul lebih banyak terdistribusi pada bagian tengah, tetapi distribusinya merata sepanjang alur discontinuitas yang terjadi.



Gambar IV.25. Hasil pengujian untuk *wet visibel* $t=1.0$ mm.

Pada gambar IV.25 terlihat bahwa penampakan indikasi adanya discontinuitas ditandai dengan alur garis warna hitam pada spesimen uji. Jarak antar kaki prod adalah 100 mm.

b. $t = 1.5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode basah (*wet methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel visibel untuk kedalaman $t = 1.5$ mm, partikel magnetik yang terkumpul terlihat samar pada sepanjang alur discontinuitas yang terjadi.



Gambar IV.26. Hasil pengujian untuk *wet visibel* $t=1.5$ mm.

Pada gambar IV.26 terlihat bahwa penampakan indikasi adanya discontinuitas ditandai dengan alur garis warna hitam yang samar pada spesimen uji. Jarak antar kaki prod adalah 100 mm.

c. $t = 2$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode basah (*wet methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel visibel untuk kedalaman $t = 2$ mm, pada gambar IV.27 terlihat bahwa tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material.



Gambar IV.27. Hasil pengujian untuk *wet visibel* $t=2.0$ mm.

Tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi. Jarak antar kaki prod 100 mm.

d. $t = 2.5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode basah (*wet methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel visibel untuk kedalaman $t = 2.5$ mm, pada gambar IV.28 terlihat bahwa tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material.



Gambar IV.28. Hasil pengujian untuk *wet visibel* $t=2.5$ mm.

Tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi. Jarak antar kaki prod 100 mm.

e. $t = 3$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode basah (*wet methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel visibel untuk kedalaman $t = 3$ mm, pada gambar IV.29 terlihat bahwa tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material.



Gambar IV.29. Hasil pengujian untuk *wet visibel* $t=3.0$ mm.

Tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi. Jarak antar kaki prod 100 mm.

f. $t = 3.5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode basah (*wet methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel visibel untuk kedalaman $t = 3.5$ mm, pada gambar IV.30 terlihat bahwa tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material.



Gambar IV.30. Hasil pengujian untuk *wet visibel* $t=3.5$ mm.

Tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi. Jarak antar kaki prod 100 mm.

g. $t = 4$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode basah (*wet methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel visibel untuk kedalaman $t = 4$ mm, terlihat pada gambar IV.31 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material.



Gambar IV.31. Hasil pengujian untuk *wet visibel* $t=4.0$ mm.

Tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi. Jarak antar kaki prod 100 mm.

h. $t = 4.5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode basah (*wet methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel visibel untuk kedalaman $t = 4.5$ mm, terlihat pada gambar IV.32 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material.



Gambar IV.32. Hasil pengujian untuk *wet visibel* $t=4.5$ mm.

Tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi. Jarak antar kaki prod 100 mm.

i. $t = 5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode basah (*wet methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel visibel untuk kedalaman $t = 5$ mm, terlihat pada gambar IV.33 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material.



Gambar IV.33. Hasil pengujian untuk *wet visibel* $t=5.0$ mm.

Tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi. Jarak antar kaki prod 100 mm.

j. $t = 5.5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode basah (*wet methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel visibel untuk kedalaman $t = 5.5$ mm, terlihat pada gambar IV.34 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material.



Gambar IV.34. Hasil pengujian untuk *wet visibel* $t=5.5$ mm.

Tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi. Jarak antar kaki prod 100 mm.

k. $t = 6$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode basah (*wet methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel visibel untuk kedalaman $t = 6$ mm, terlihat pada gambar IV.35 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material.



Gambar IV.35. Hasil pengujian untuk *wet visibel* $t=6.0$ mm.

Tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi. Jarak antar kaki prod 100 mm.

l. $t = 6.5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode basah (*wet methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel visibel untuk kedalaman $t = 6.5$ mm, terlihat pada gambar IV.36 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material.



Gambar IV.36. Hasil pengujian untuk *wet visibel* $t=6.5$ mm.

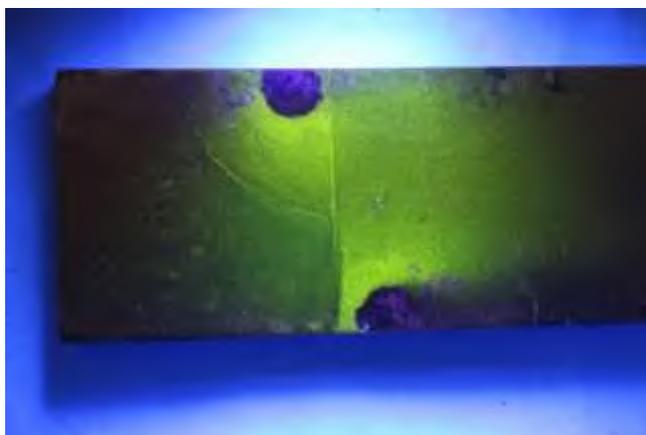
Tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi. Jarak antar kaki prod 100 mm.

IV.2.2. Wet Methode, AC, Partikel Fluorescent

Pada partikel fluorescent arus AC dapat dianalisa seperti pada foto makro di bawah menurut besarnya kedalaman penembusan discontinuitas.

a. $t = 1$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode basah (*wet methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel fluorescent untuk kedalaman $t = 1$ mm.



Gambar IV.37. Hasil pengujian untuk *wet fluorescent* $t=1.0$ mm.

Partikel magnetik yang terkumpul merata sepanjang alur discontinuitas yang terjadi, pada gambar IV.37 terlihat bahwa indikasi adanya discontinuitas sub-surface ditandai dengan adanya garis tebal warna hijau terang sepanjang alur discontinuitas yang terjadi. Jarak antar kaki prod 100 mm.

b. $t = 1.5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode basah (*wet methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel fluorescent untuk kedalaman $t = 1.5$ mm.



Gambar IV.38. Hasil pengujian untuk *wet fluorescent* $t=1.5$ mm.

Partikel magnetik yang terkumpul merata sepanjang alur discontinuitas yang terjadi, pada gambar IV.38 terlihat bahwa indikasi adanya discontinuitas sub-surface ditandai dengan adanya garis tebal warna hijau terang sepanjang alur discontinuitas yang terjadi. Jarak antar kaki prod 100 mm.

c. $t = 2$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode basah (*wet methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel fluorescent untuk kedalaman $t = 2$ mm.

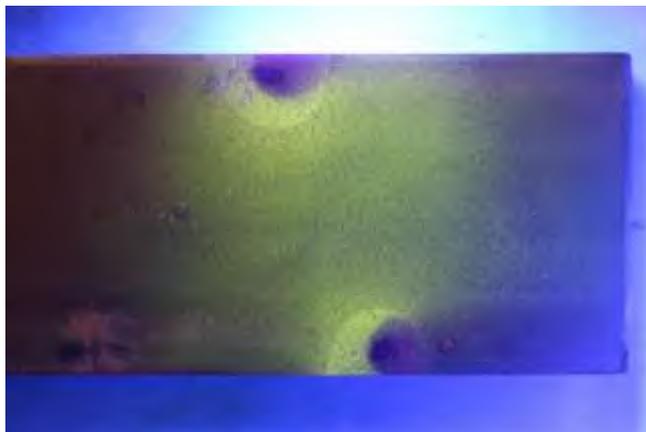


Gambar IV.39. Hasil pengujian untuk *wet fluorescent* $t=2.0$ mm.

Partikel magnetik yang terkumpul merata sepanjang alur discontinuitas yang terjadi tampak samar, pada gambar IV.39 terlihat bahwa indikasi adanya discontinuitas sub-surface ditandai dengan adanya garis samar warna hijau terang sepanjang alur discontinuitas yang terjadi. Jarak antar kaki prod 100 mm.

d. $t = 2.5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode basah (*wet methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel fluorescent untuk kedalaman $t = 2.5$ mm.

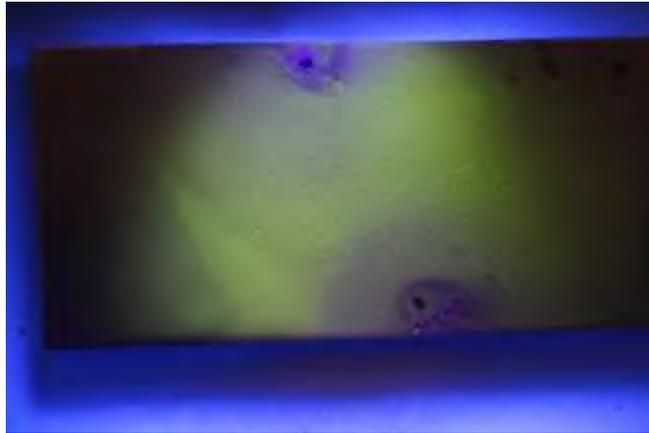


Gambar IV.40. Hasil pengujian untuk *wet fluorescent* $t=2.5$ mm.

Pada gambar IV.40 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material. Tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi. Jarak antar kaki prod 100 mm.

e. $t = 3$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode basah (*wet methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel fluorescent untuk kedalaman $t = 2.5$ mm.

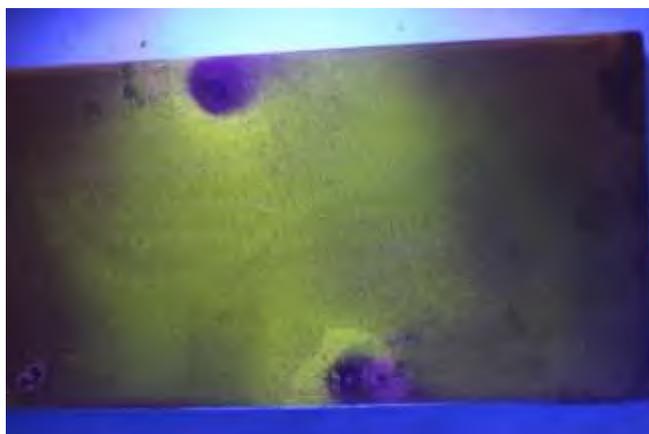


Gambar IV.41. Hasil pengujian untuk *wet fluorescent* $t=3.0$ mm.

Terlihat seperti pada gambar IV.41 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material. Tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi. Jarak antar kaki prod 100 mm.

f. $t = 3.5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode basah (*wet methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel fluorescent untuk kedalaman $t = 3.5$ mm, terlihat pada gambar IV.42 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material.

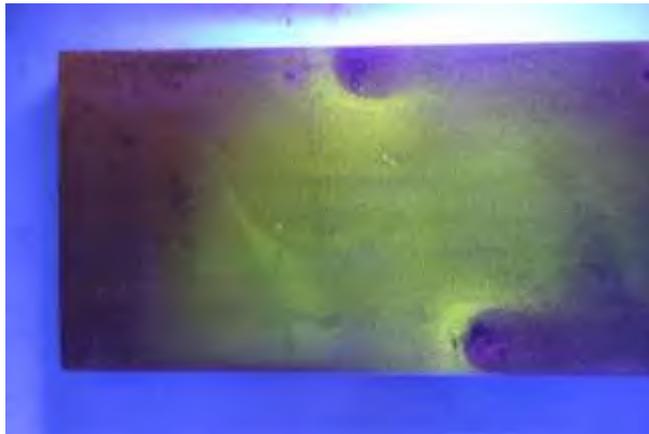


Gambar IV.42. Hasil pengujian untuk *wet fluorescent* $t=3.5$ mm.

Tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi. Jarak antar kaki prod 100 mm.

g. $t = 4$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode basah (*wet methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel fluorescent untuk kedalaman $t = 4$ mm, terlihat pada gambar IV.43 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material.

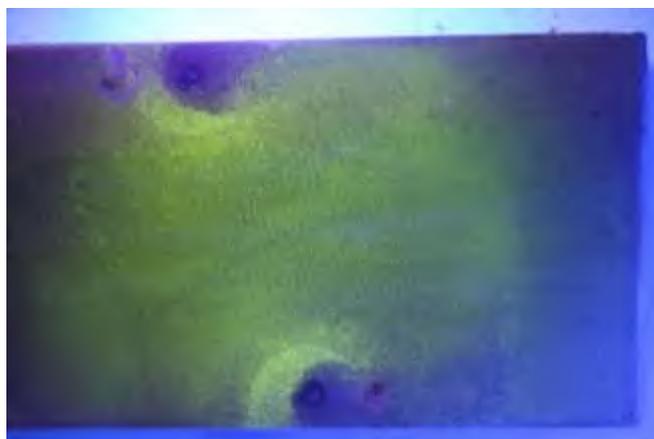


Gambar IV.43. Hasil pengujian untuk *wet fluorescent* $t=4.0$ mm.

Tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi. Jarak antar kaki prod 100 mm.

h. $t = 4.5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode basah (*wet methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel fluorescent untuk kedalaman $t = 4.5$ mm. Penyebaran partikel magnetik juga sudah tidak dapat terlihat lagi.

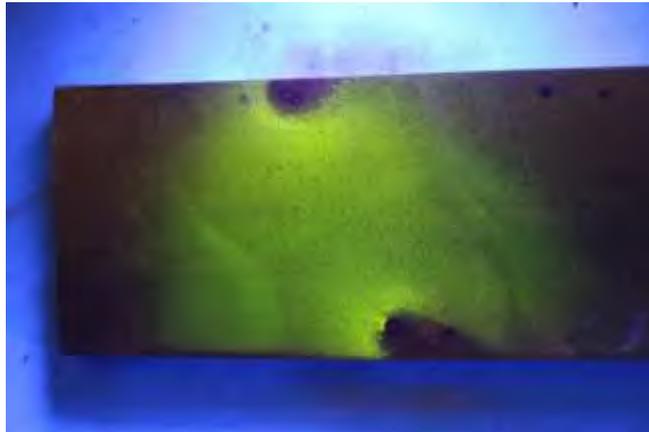


Gambar IV.44. Hasil pengujian untuk *wet fluorescent* $t=4.5$ mm.

Hal ini terlihat seperti pada gambar IV.44 alur garis warna hijau terang yang terbentuk tidak terlihat. Sehingga pengaruh kebocoran medan magnet tidak ada. Jarak antar kaki prod 100 mm.

i. $t = 5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode basah (*wet methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel fluorescent untuk kedalaman $t = 5$ mm, terlihat pada gambar IV.45 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material.

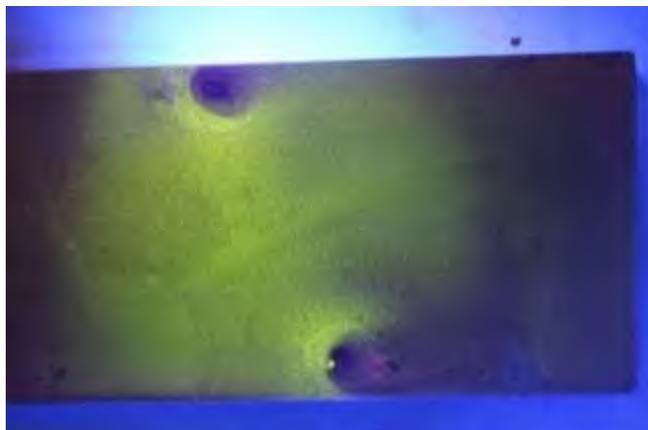


Gambar IV.45. Hasil pengujian untuk *wet fluorescent* $t=5.0$ mm.

Tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi. Jarak antar kaki prod 100 mm.

j. $t = 5.5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode basah (*wet methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel fluorescent untuk kedalaman $t = 5.5$ mm, terlihat pada gambar IV.46 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material.

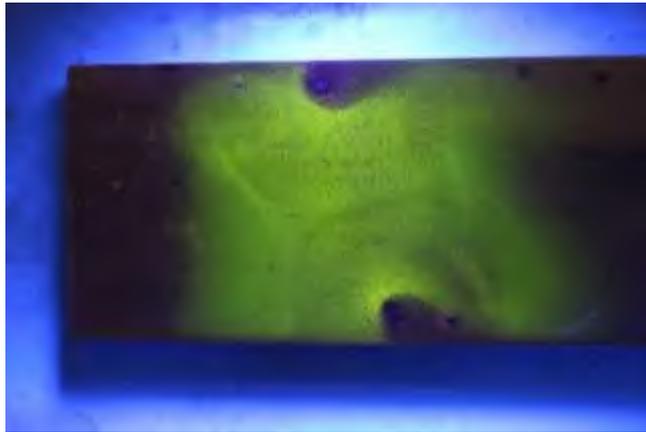


Gambar IV.46. Hasil pengujian untuk *wet fluorescent* $t=5.5$ mm.

Tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi. Jarak antar kaki prod 100 mm.

k. $t = 6$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode basah (*wet methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel fluorescent untuk kedalaman $t = 6$ mm, terlihat pada gambar IV.47 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material.



Gambar IV.47. Hasil pengujian untuk *wet fluorescent* $t=6.0$ mm.

Tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi. Jarak antar kaki prod 100 mm.

l. $t = 6.5$ mm dari permukaan

Pada pengujian magnetik untuk metode basah (*wet methode*) dengan menggunakan arus AC dan partikel fluorescent untuk kedalaman $t = 6.5$ mm, terlihat pada gambar IV.48 tidak tampak adanya indikasi discontinuitas pada material.



Gambar IV.48. Hasil pengujian untuk *wet fluorescent* $t=6.5$ mm.

Tidak ada pengaruh kebocoran medan magnet yang terjadi. Jarak antar kaki prod 100 mm.

IV.3. Tabel Hasil Dan Pembahasan Pengujian Prod Dan Yoke

Dari hasil penelitian di atas didapatkan besarnya nilai kedalaman penembusan magnetisasi prod pada suatu discontinuitas. Di bawah ini adalah tabel penembusan untuk magnetisasi prod dan yoke dari penelitian sebelumnya.

Tabel IV-1 Penembusan kedalaman discontinuitas pada magnetisasi prod arus AC.

Tebal (mm)	Jenis Prod (Arus AC)			
	<i>Wet visible</i>	<i>Wet fluorescent</i>	<i>Dry visible</i>	<i>Dry fluorescent</i>
1.0	√	√	√	√
1.5	√	√	-	-
2.0	-	√	-	-
2.5	-	-	-	-
3.0	-	-	-	-
3.5	-	-	-	-
4.0	-	-	-	-
4.5	-	-	-	-
5.0	-	-	-	-
5.5	-	-	-	-
6.0	-	-	-	-
6.5	-	-	-	-

Note :

√ adalah dapat menembus ketebalan discontinuitas.

- adalah tidak dapat menembus ketebalan discontinuitas.

Dari tabel di atas dapat diambil data bahwa untuk semua partikel *dry* baik *visible* maupun *fluorescent* hanya dapat menembus ketebalan discontinuitas 1.0 mm, sedangkan untuk partikel *wet visible* mampu melakukan penembusan mencapai 1.5 mm. Penembusan terbaik pada magnetisasi prod arus AC dilakukan oleh partikel *wet fluorescent* yang dapat menembus mencapai 2.0 mm. Dengan membandingkan antara semua metode dan partikel pada magnetisasi prod diperoleh hasil pendeteksian terdalam pada *wet fluorescent* sebesar 2 mm dikarenakan partikel basah lebih sensitif daripada partikel kering karena ukuran partikel basah lebih kecil

daripada partikel kering sehingga dengan ukuran lebih kecil mudah pergerakannya untuk menempati garis-garis medan magnet saat penyemprotan. Partikel *wet fluorescent* lebih unggul daripada *wet visibel* di dalam pendeteksian dikarenakan material fluorescent memantulkan cahaya ke mata ketika diterangi lampu ultraviolet dalam kondisi ruangan gelap sehingga mata lebih tajam dalam mendeteksi diskontinuitas pada specimen dibandingkan dengan *wet visibel* pada cahaya tampak.

Tabel IV-2 Penembusan kedalaman diskontinuitas pada magnetisasi Yoke arus AC.

Tebal (mm)	Jenis Yoke (Arus AC)			
	<i>Wet visible</i>	<i>Wet fluorescent</i>	<i>Dry visible</i>	<i>Dry fluorescent</i>
1.0	√	√	√	√
1.5	√	√	√	√
2.0	√	√	√	√
2.5	√	√	√	√
3.0	√	√	√	√
3.5	√	-	-	-
4.0	-	-	-	-
4.5	-	-	-	-
5.0	-	-	-	-
5.5	-	-	-	-
6.0	-	-	-	-
6.5	-	-	-	-

Note :

√ adalah dapat menembus ketebalan diskontinuitas.

- adalah tidak dapat menembus ketebalan diskontinuitas.

Dari tabel di atas dapat diambil data bahwa untuk semua partikel *dry* baik *visible* maupun *fluorescent* dan *wet fluorescent* dapat menembus ketebalan diskontinuitas 4.0 mm. Penembusan terbaik pada magnetisasi yoke arus AC dilakukan oleh partikel *wet visible* yang dapat menembus mencapai 3.5 mm.

Tabel IV-3 Tabel penembusan kedalaman discontinuitas pada magnetisasi Yoke arus DC.

Tebal (mm)	Jenis Yoke (Arus DC)			
	<i>Wet visible</i>	<i>Wet fluorescent</i>	<i>Dry visible</i>	<i>Dry fluorescent</i>
1.0	√	√	√	√
1.5	√	√	√	√
2.0	√	√	√	√
2.5	√	√	√	√
3.0	√	√	√	√
3.5	√	√	√	√
4.0	√	√	√	√
4.5	-	-	-	-
5.0	-	-	-	-
5.5	-	-	-	-
6.0	-	-	-	-
6.5	-	-	-	-

Note :

√ adalah dapat menembus ketebalan discontinuitas.

- adalah tidak dapat menembus ketebalan discontinuitas.

Dari tabel di atas dapat diambil data bahwa untuk semua partikel *dry* dan *wet* baik *visible* maupun *fluorescent* dapat menembus ketebalan discontinuitas 4.0 mm. Pemilihan magnetisasi mempengaruhi besarnya nilai penembusan suatu discontinuitas. Dari penelitian diperoleh bahwa penembusan magnetisasi yoke lebih mampu menjangkau hingga kedalaman 3.5 mm dibandingkan magnetisasi prod yang hanya mampu menjangkau kedalaman 2.0 mm pada arus yang sama. Hal ini dikarenakan magnetisasi yoke menginduksikan medan magnet longitudinal secara lokal (setempat), sedangkan prod mengalirkan langsung arus listrik kepada material secara menyeluruh sehingga yoke lebih peka terhadap pendeteksian discontinuitas.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

HASIL FOTO MAKRO PENGUJIAN SPECIMEN

MATERIAL 1



MATERIAL 2



MATERIAL 3



MATERIAL 4



MATERIAL 5



MATERIAL 6



METODE : DRY METHODE
PARTIKEL : VISIBEL
ARUS : AC
t : 1.0 mm



METODE : DRY METHODE
PARTIKEL : VISIBEL
ARUS : AC
t : 1.5 mm



METODE : DRY METHODE

PARTIKEL : VISIBEL
ARUS : AC
t : 2.0 mm



METODE : DRY METHODE
PARTIKEL : VISIBEL
ARUS : AC
t : 2.5 mm



METODE : DRY METHODE
PARTIKEL : VISIBEL
ARUS : AC
t : 3.0 mm



METODE : DRY METHODE
PARTIKEL : VISIBEL
ARUS : AC
t : 3.5 mm



METODE : DRY METHODE
PARTIKEL : VISIBEL
ARUS : AC
t : 4.0 mm



METODE : DRY METHODE
PARTIKEL : VISIBEL

ARUS : AC
t : 4.5 mm



METODE : DRY METHODE
PARTIKEL : VISIBEL
ARUS : AC
t : 5.0 mm



METODE : DRY METHODE
PARTIKEL : VISIBEL
ARUS : AC
t : 5.5 mm



METODE : DRY METHODE
PARTIKEL : VISIBEL

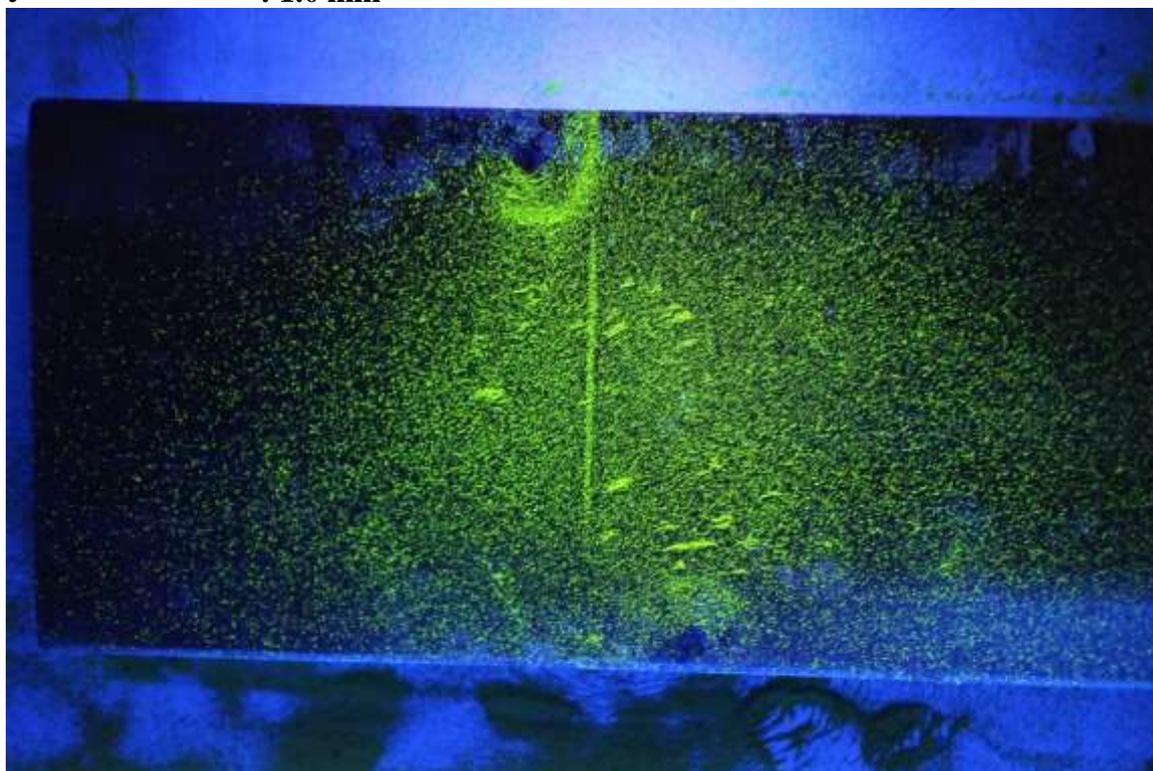
ARUS : AC
t : 6.0 mm



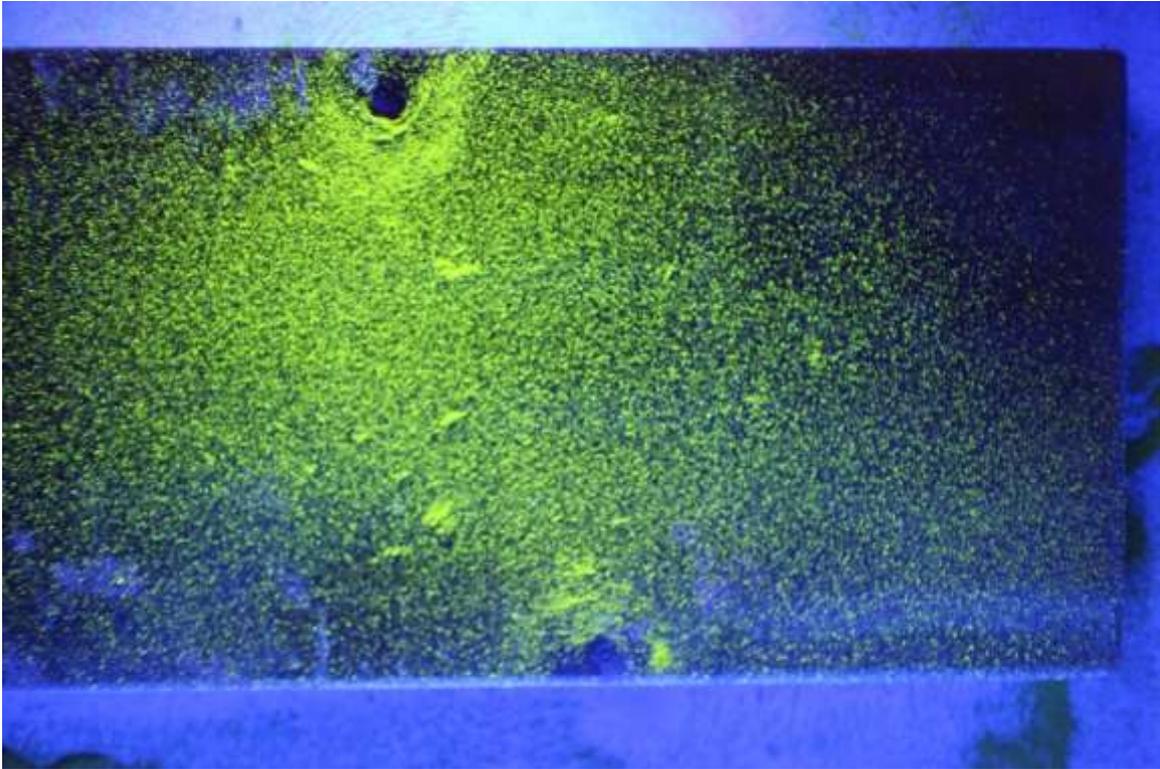
METODE : DRY METHODE
PARTIKEL : VISIBEL
ARUS : AC
t : 6.5 mm



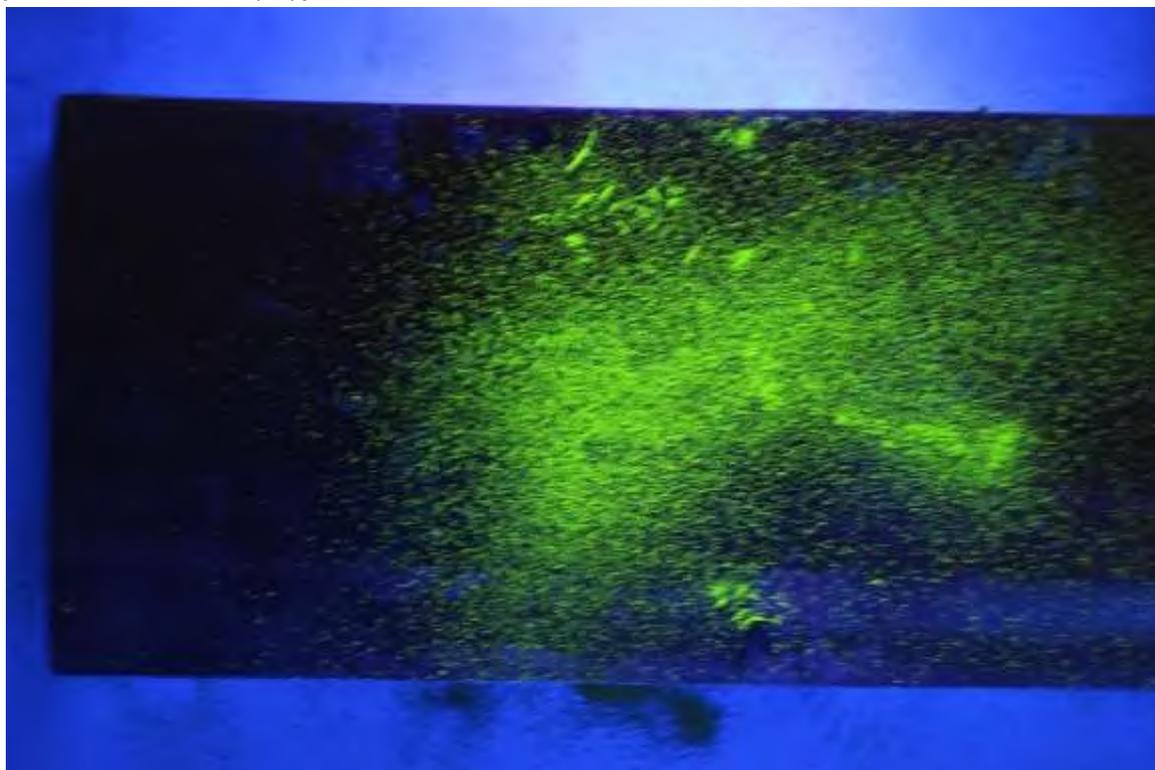
METODE : **DRY METHODE**
PARTIKEL : **FLOURESCENT**
ARUS : **AC**
t : **1.0 mm**



METODE : DRY METHODE
PARTIKEL : FLOURESCENT
ARUS : AC
t : 1.5 mm

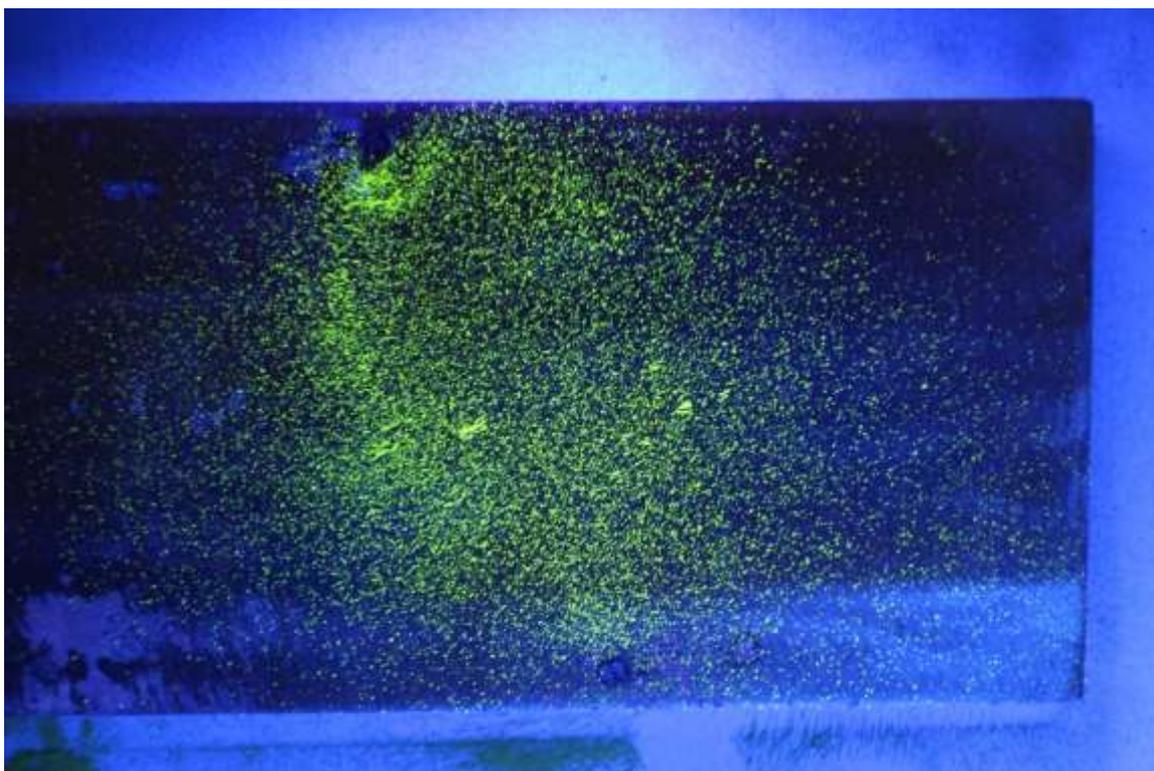


METODE : DRY METHODE
PARTIKEL : FLOURESCENT
ARUS : AC
t : 2.0 mm

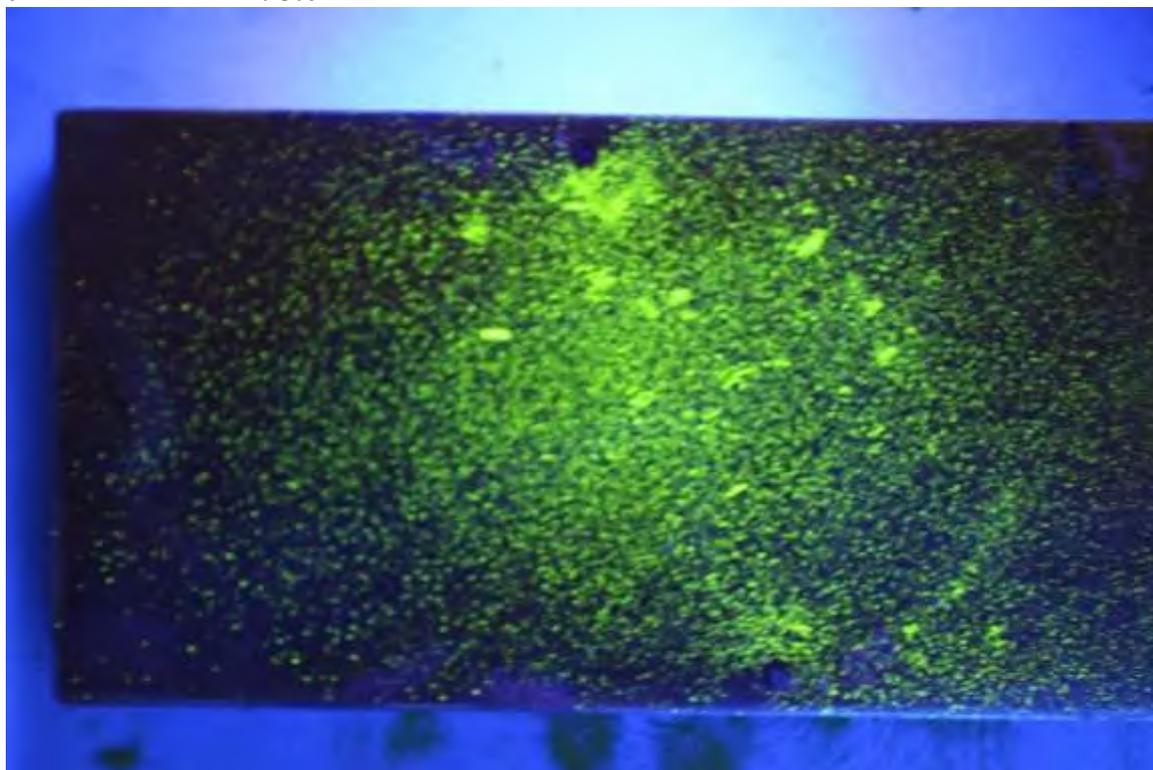


METODE : DRY METHODE
PARTIKEL : FLOURESCENT
ARUS : AC

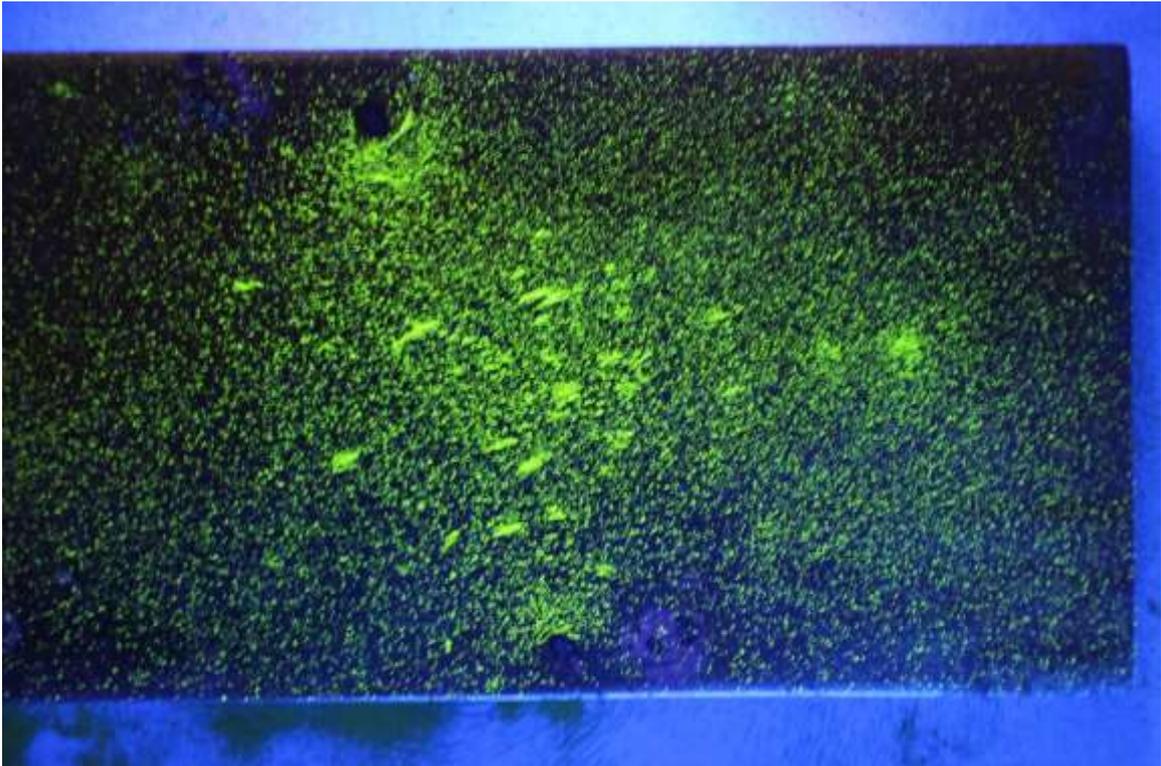
t : 2.5 mm



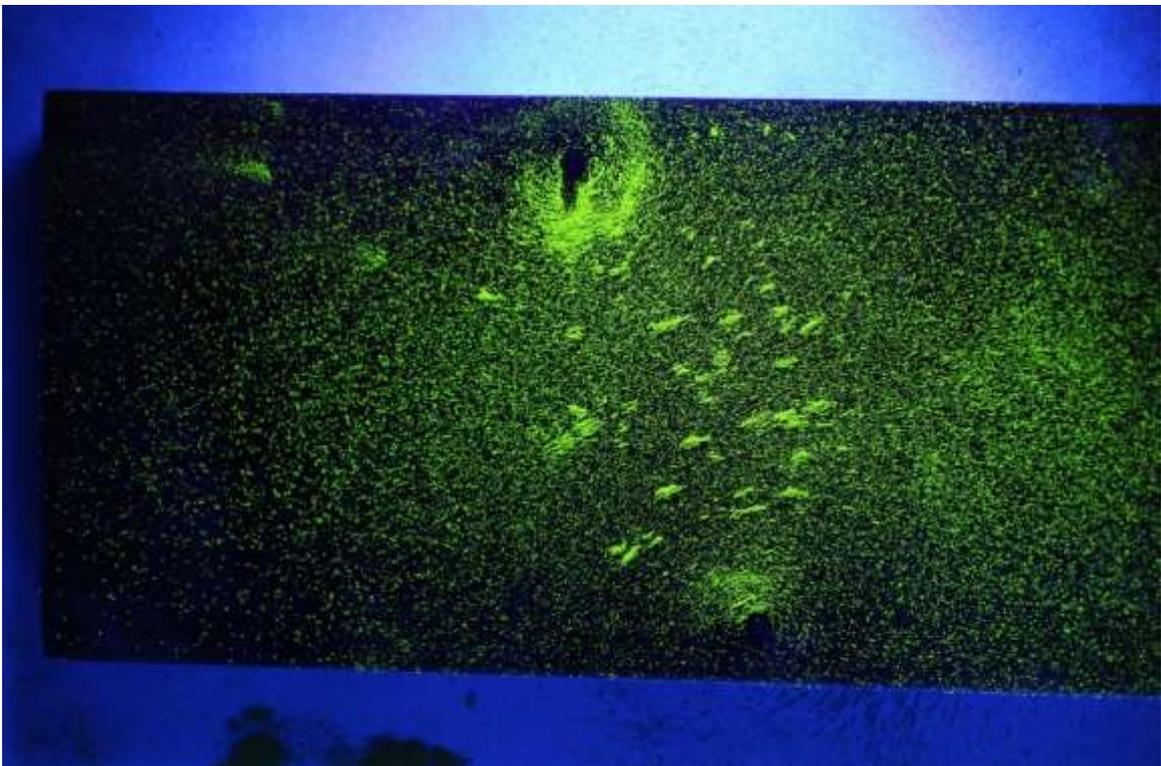
METODE : **DRY METHODE**
PARTIKEL : **FLOURESCENT**
ARUS : **AC**
t : **3.0 mm**



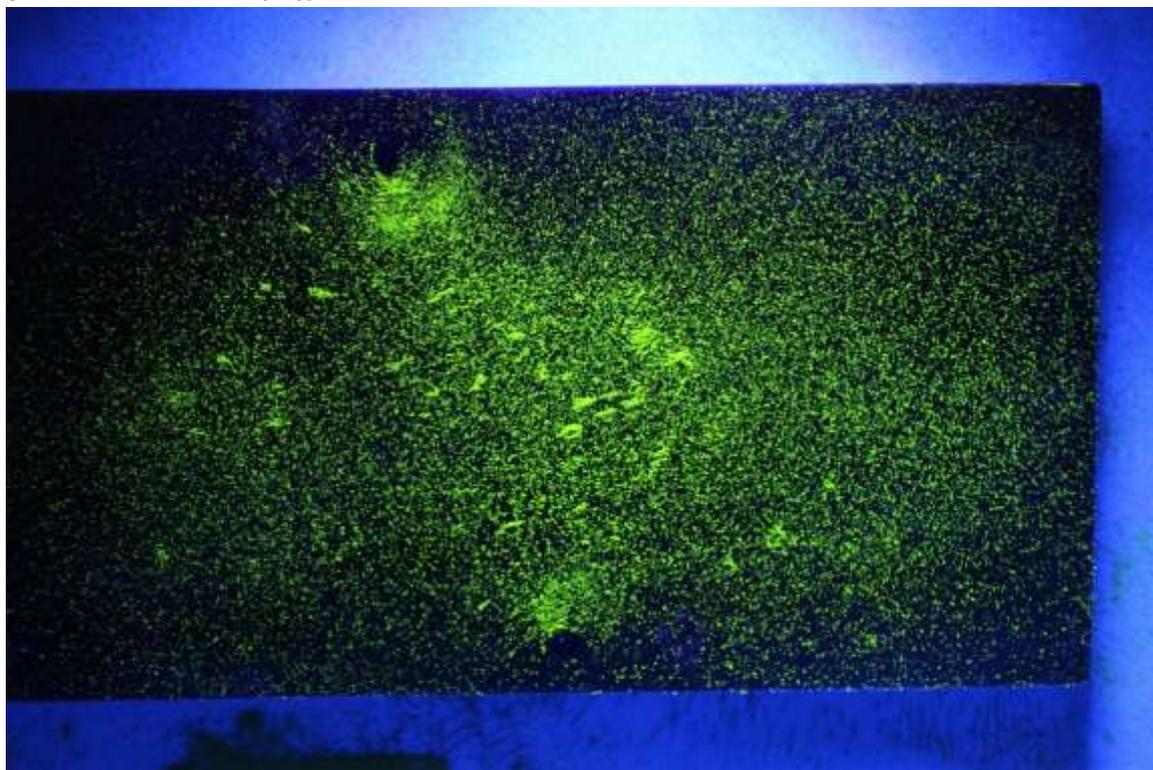
METODE : **DRY METHODE**
PARTIKEL : **FLOURESCENT**
ARUS : **AC**
t : **3.5 mm**



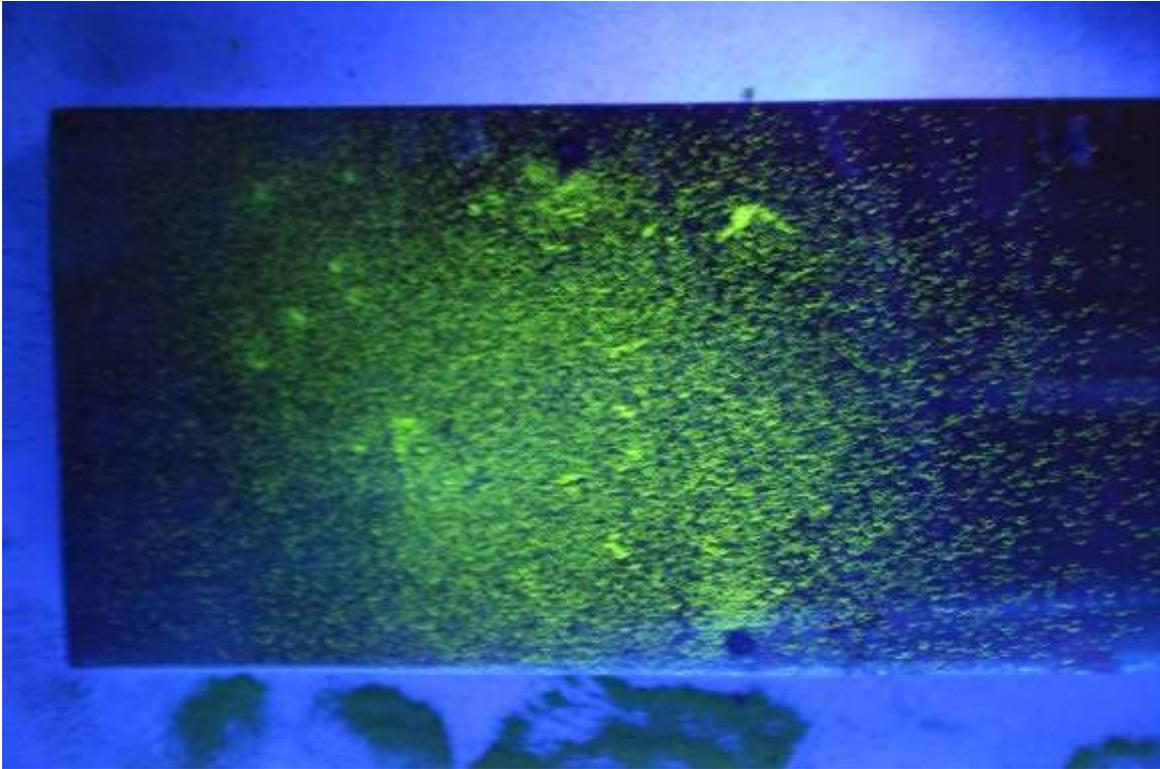
METODE : DRY METHODE
PARTIKEL : FLOURESCENT
ARUS : AC
t : 4.0 mm



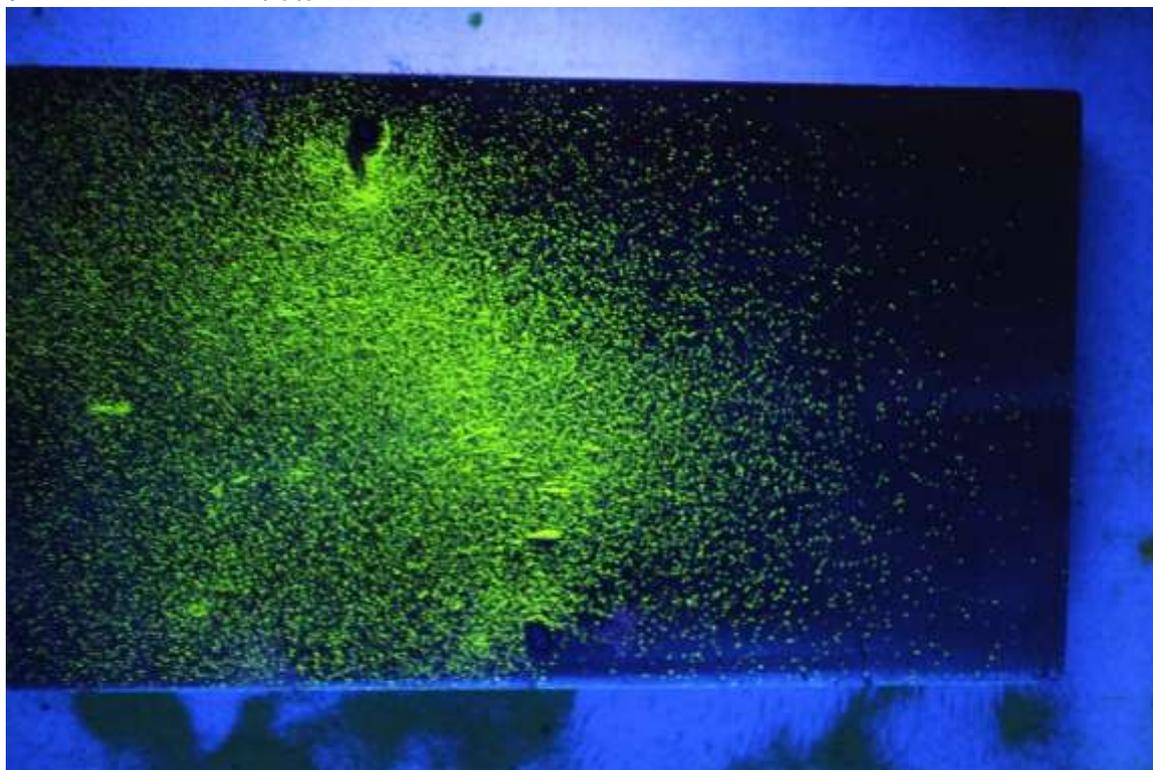
METODE : **DRY METHODE**
PARTIKEL : **FLOURESCENT**
ARUS : **AC**
t : **4.5 mm**



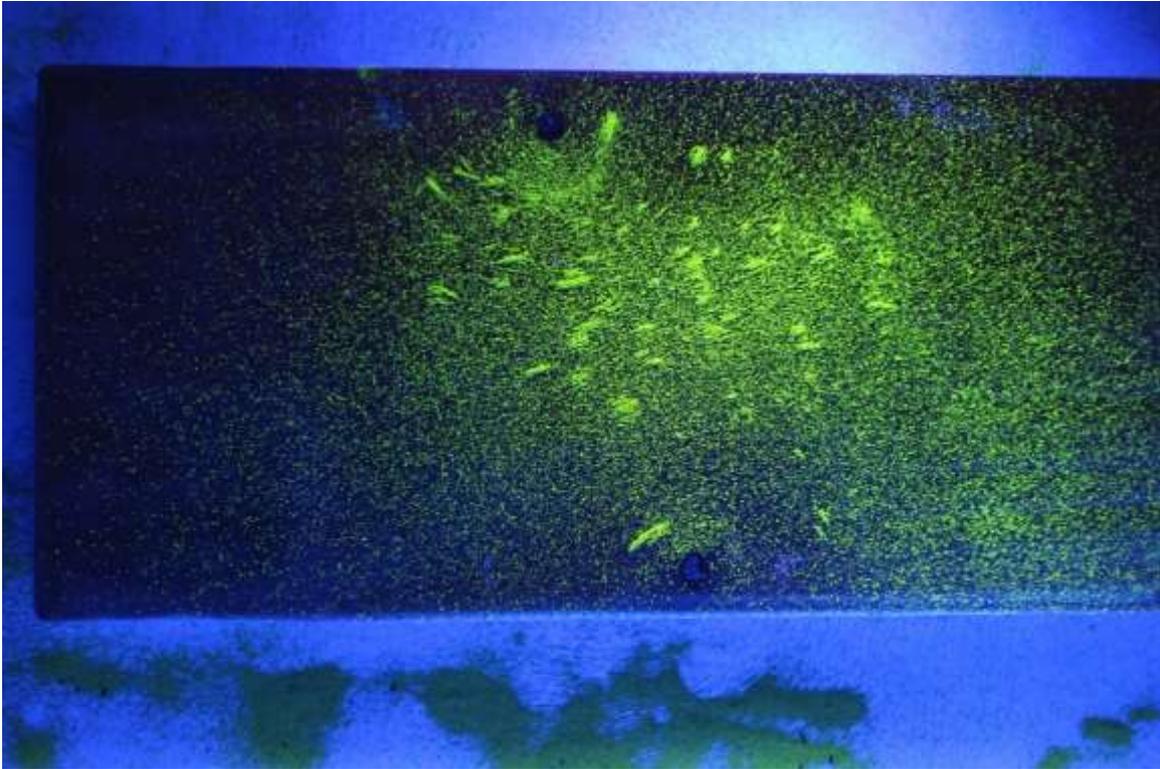
METODE : DRY METHODE
PARTIKEL : FLOURESCENT
ARUS : AC
t : 5.0 mm



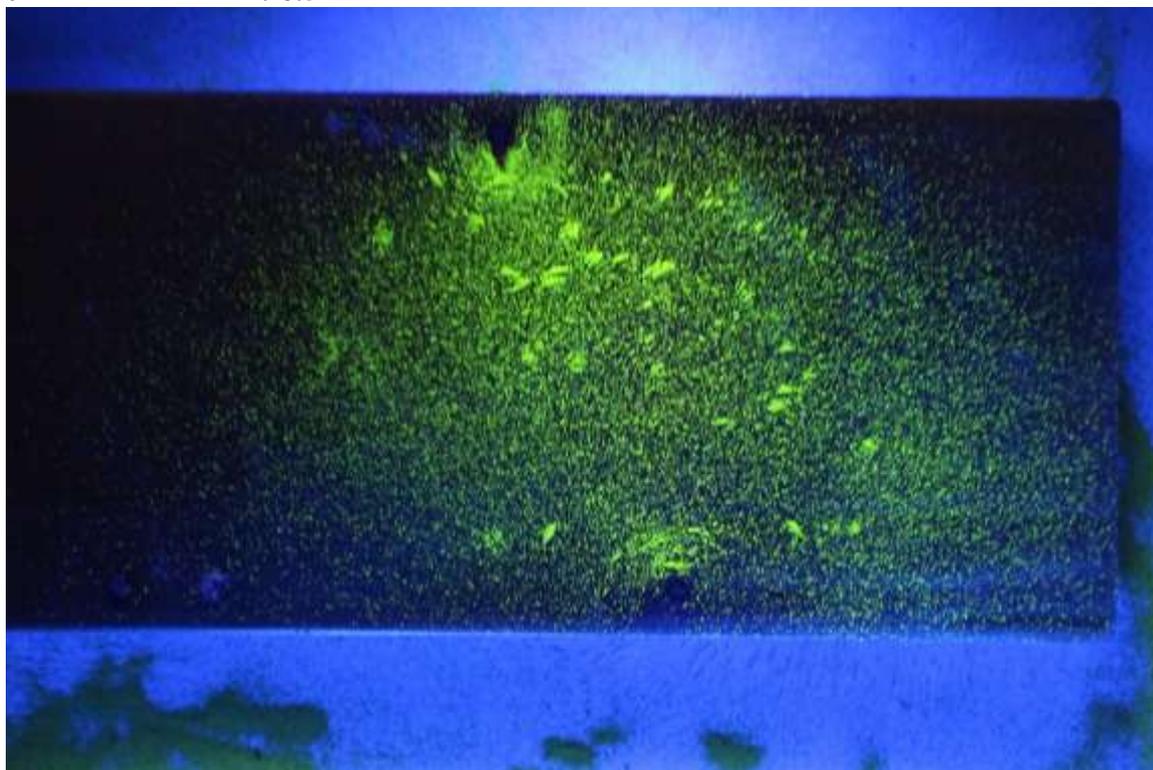
METODE : **DRY METHODE**
PARTIKEL : **FLOURESCENT**
ARUS : **AC**
t : **5.5 mm**



METODE : DRY METHODE
PARTIKEL : FLOURESCENT
ARUS : AC
t : 6.0 mm



METODE : **DRY METHODE**
PARTIKEL : **FLOURESCENT**
ARUS : **AC**
t : **6.5 mm**



METODE : WET METHODE
PARTIKEL : VISIBEL
ARUS : AC
t : 1.0 mm



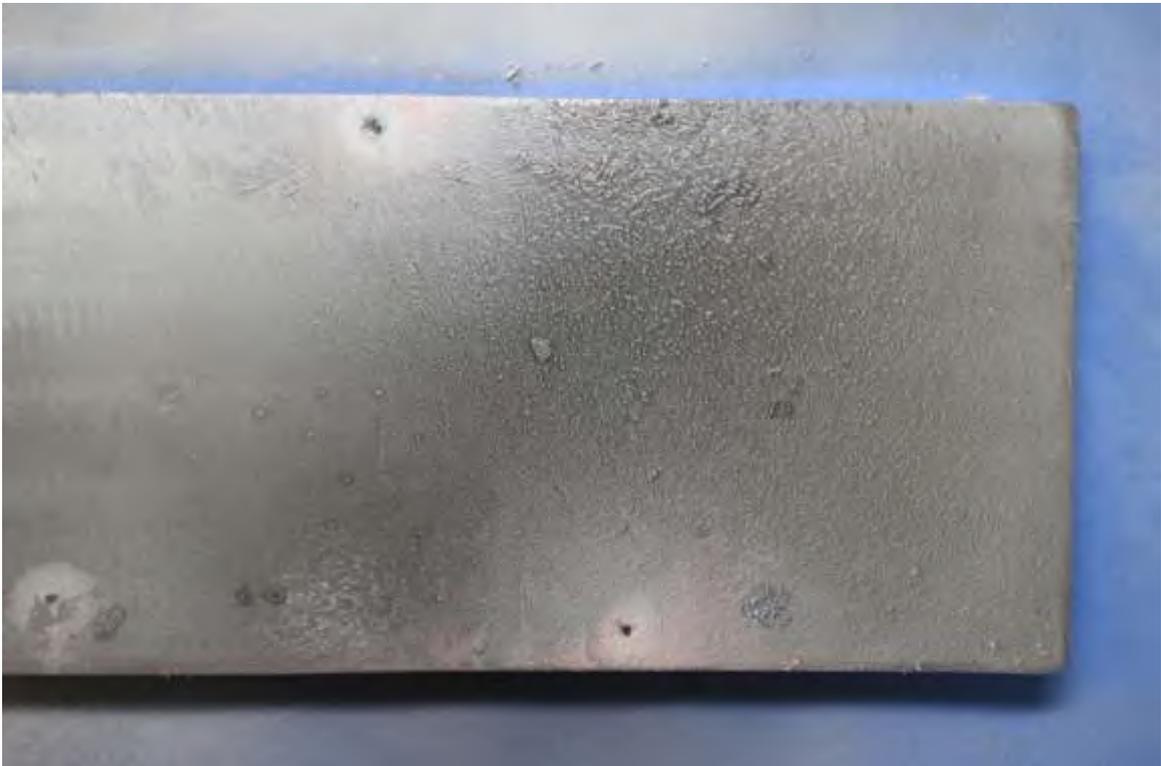
METODE : WET METHODE
PARTIKEL : VISIBEL
ARUS : AC
t : 1.5 mm



METODE : WET METHODE
PARTIKEL : VISIBEL
ARUS : AC
t : 2.0 mm



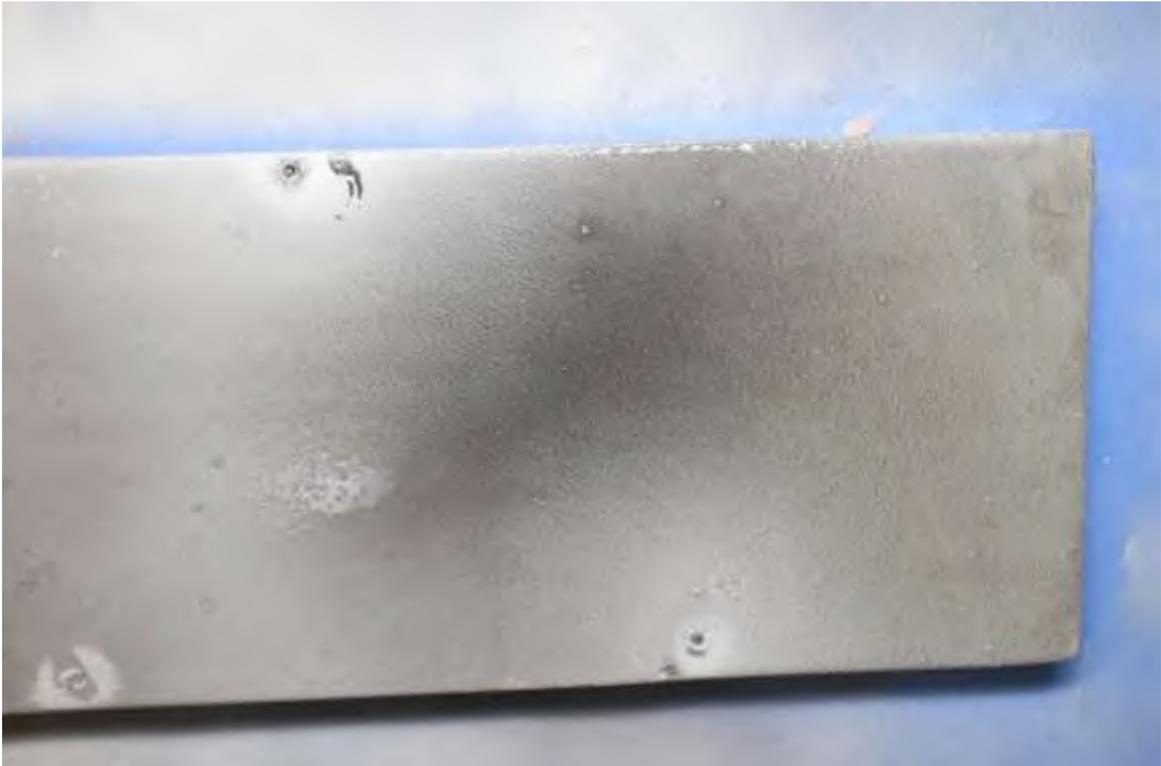
METODE : WET METHODE
PARTIKEL : VISIBEL
ARUS : AC
t : 2.5 mm



METODE : WET METHODE
PARTIKEL : VISIBEL
ARUS : AC
t : 3.0 mm



METODE : WET METHODE
PARTIKEL : VISIBEL
ARUS : AC
t : 3.5 mm



METODE : WET METHODE
PARTIKEL : VISIBEL
ARUS : AC
t : 4.0 mm



METODE : WET METHODE

PARTIKEL : VISIBEL
ARUS : AC
t : 4.5 mm



METODE : WET METHODE
PARTIKEL : VISIBEL
ARUS : AC
t : 5.0 mm



METODE : WET METHODE
PARTIKEL : VISIBEL
ARUS : AC
t : 5.5 mm



METODE : WET METHODE

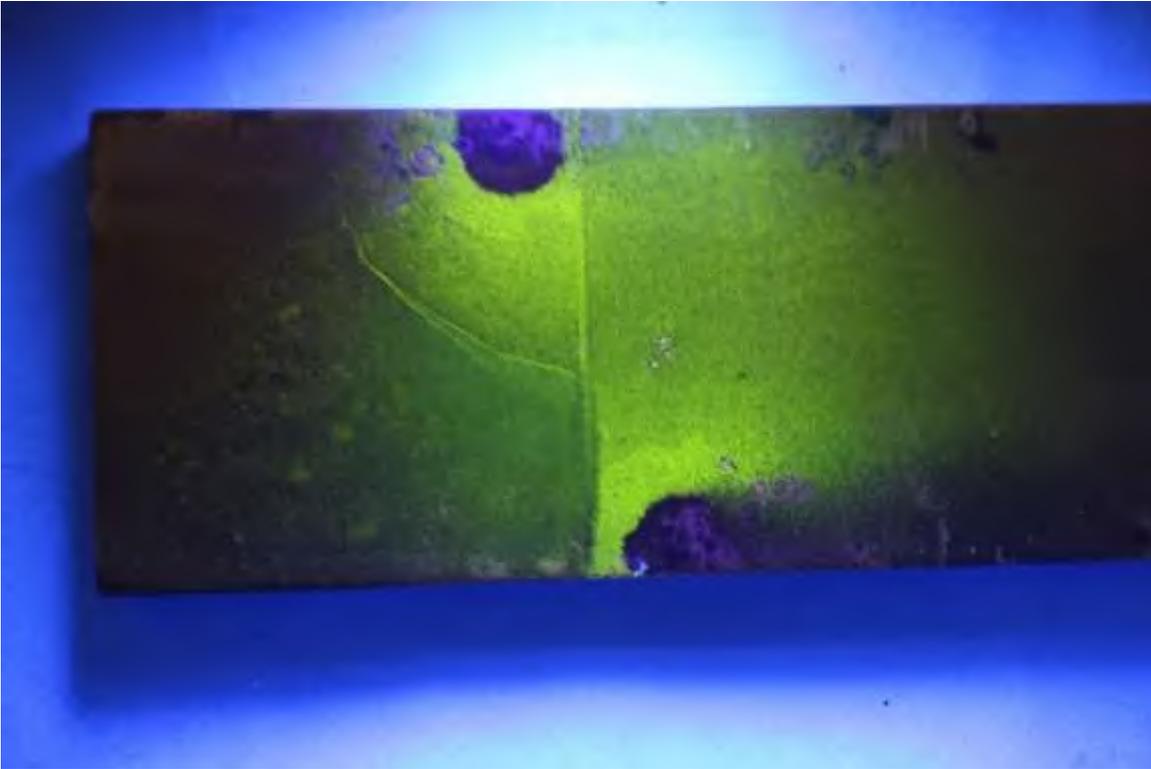
PARTIKEL : VISIBEL
ARUS : AC
t : 6.0 mm



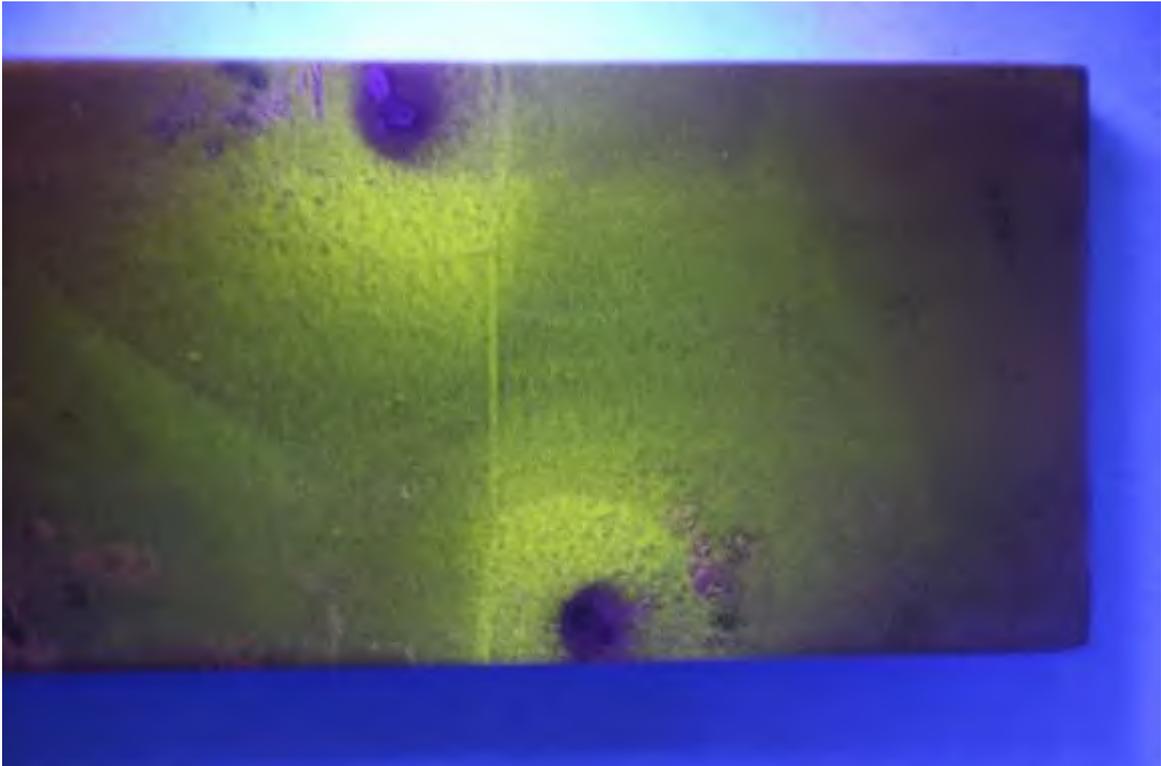
METODE : WET METHODE
PARTIKEL : VISIBEL
ARUS : AC
t : 6.5 mm



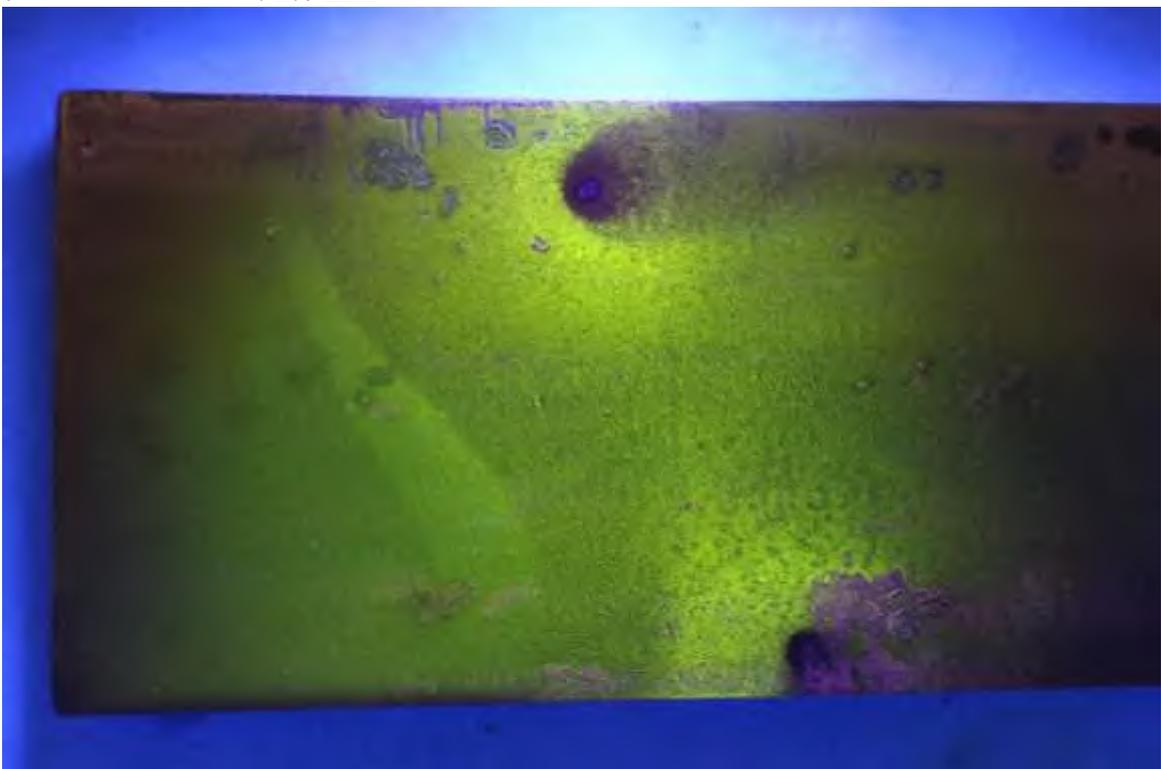
METODE : **WET METHODE**
PARTIKEL : **FLOURESCENT**
ARUS : **AC**
t : **1.0 mm**



METODE : **WET METHODE**
PARTIKEL : **FLOURESCENT**
ARUS : **AC**
t : **1.5 mm**

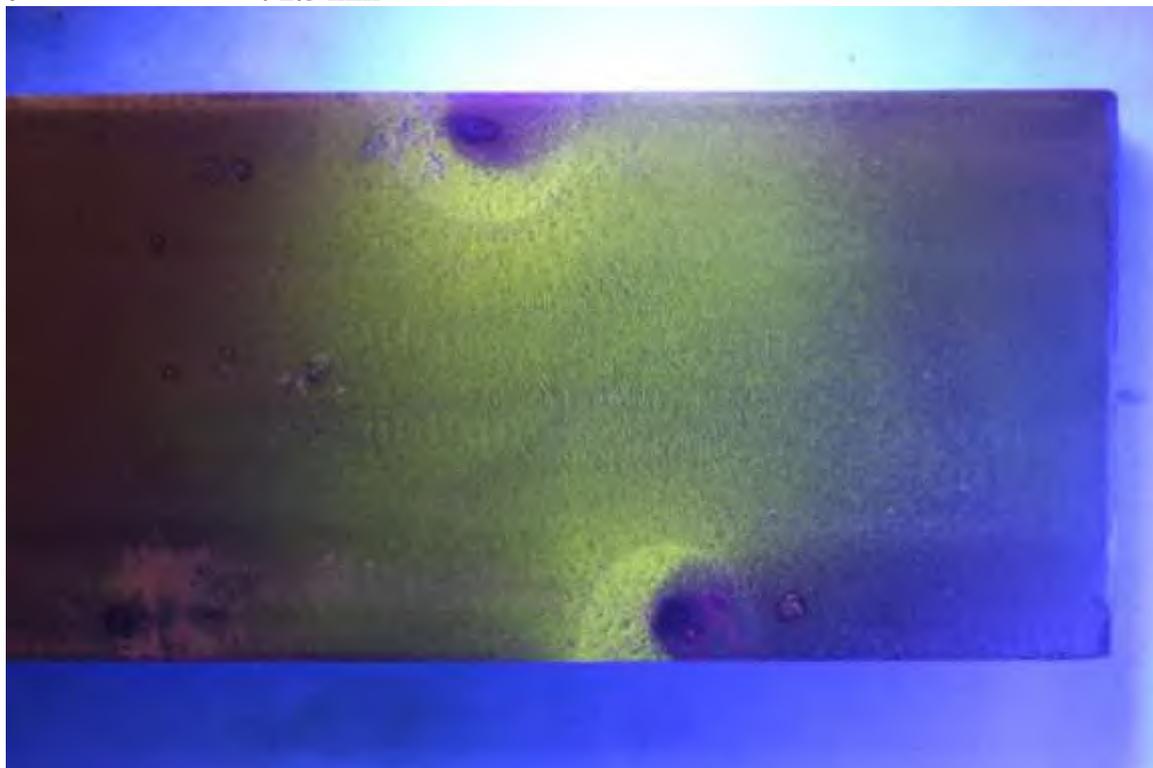


METODE : WET METHODE
PARTIKEL : FLOURESCENT
ARUS : AC
t : 2.0 mm

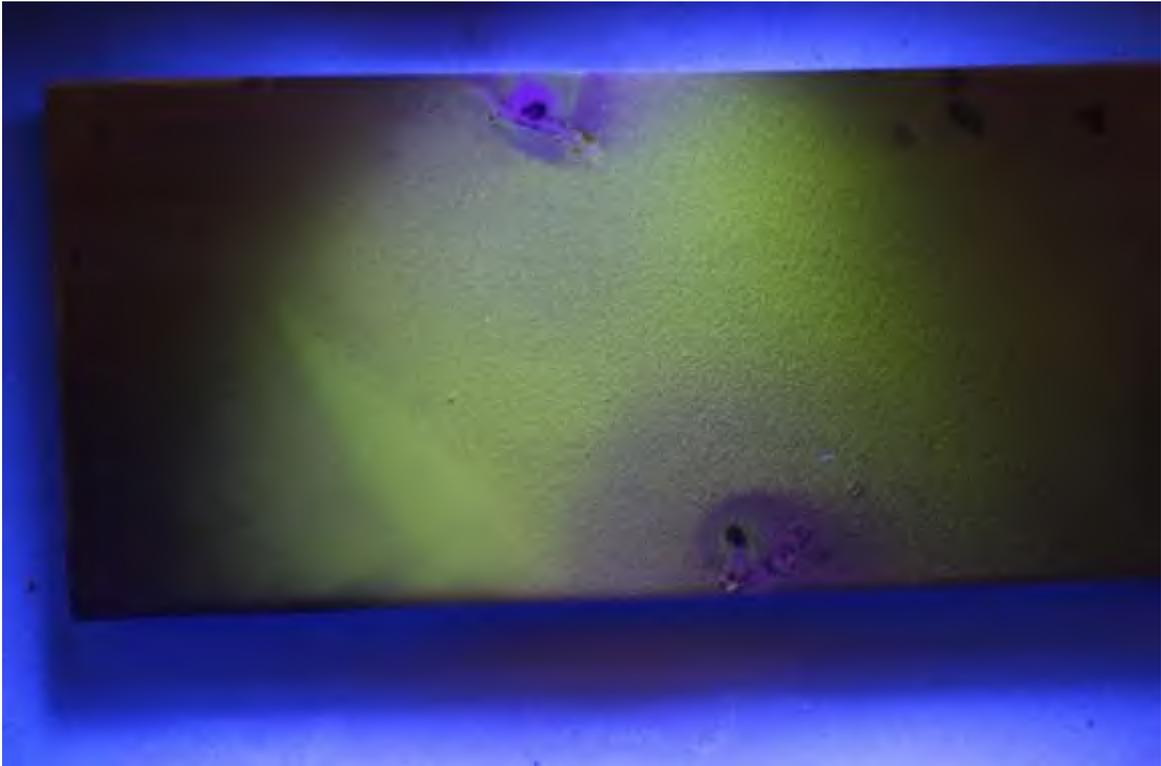


METODE : WET METHODE

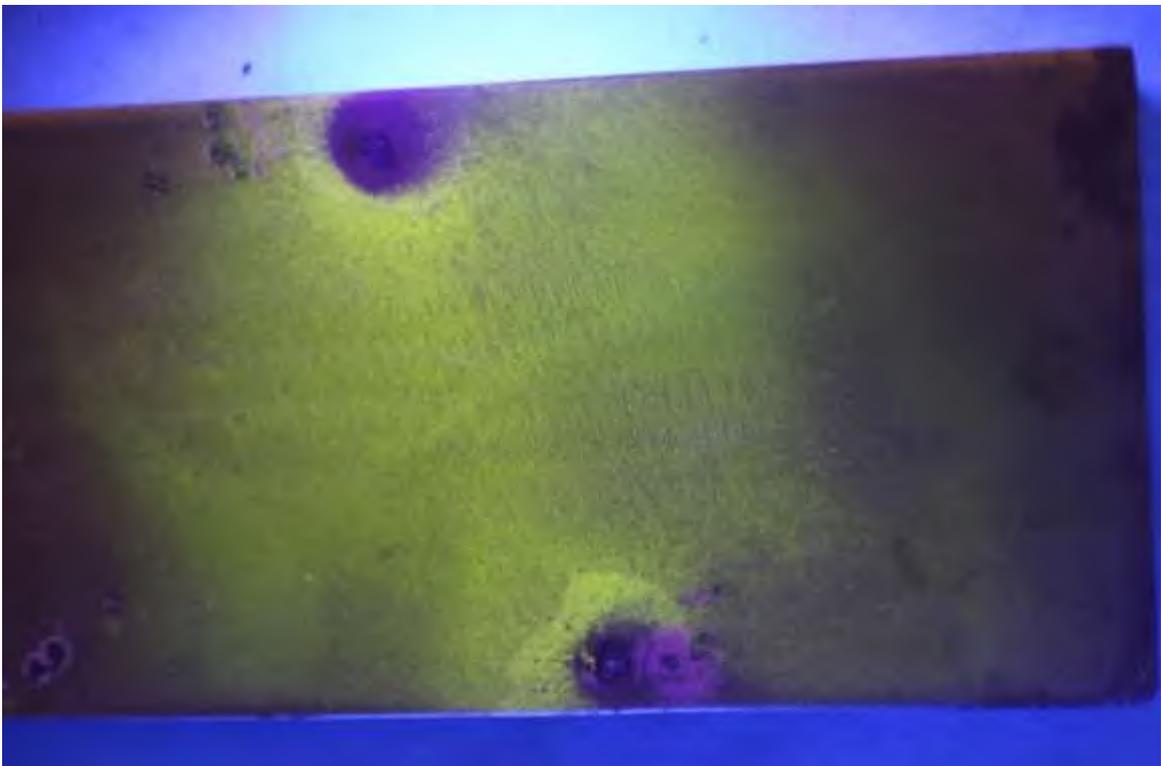
PARTIKEL : FLOURESCENT
ARUS : AC
t : 2.5 mm



METODE : WET METHODE
PARTIKEL : FLOURESCENT
ARUS : AC
t : 3.0 mm

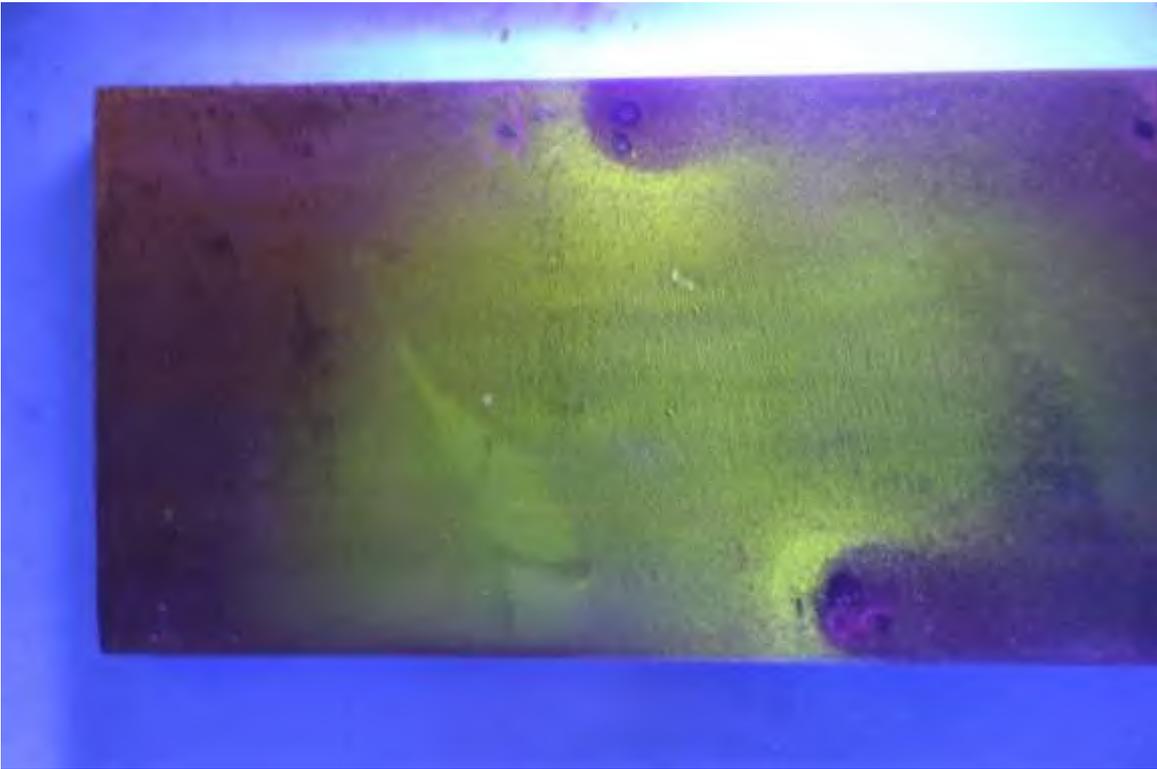


METODE : WET METHODE
PARTIKEL : FLOURESCENT
ARUS : AC
t : 3.5 mm

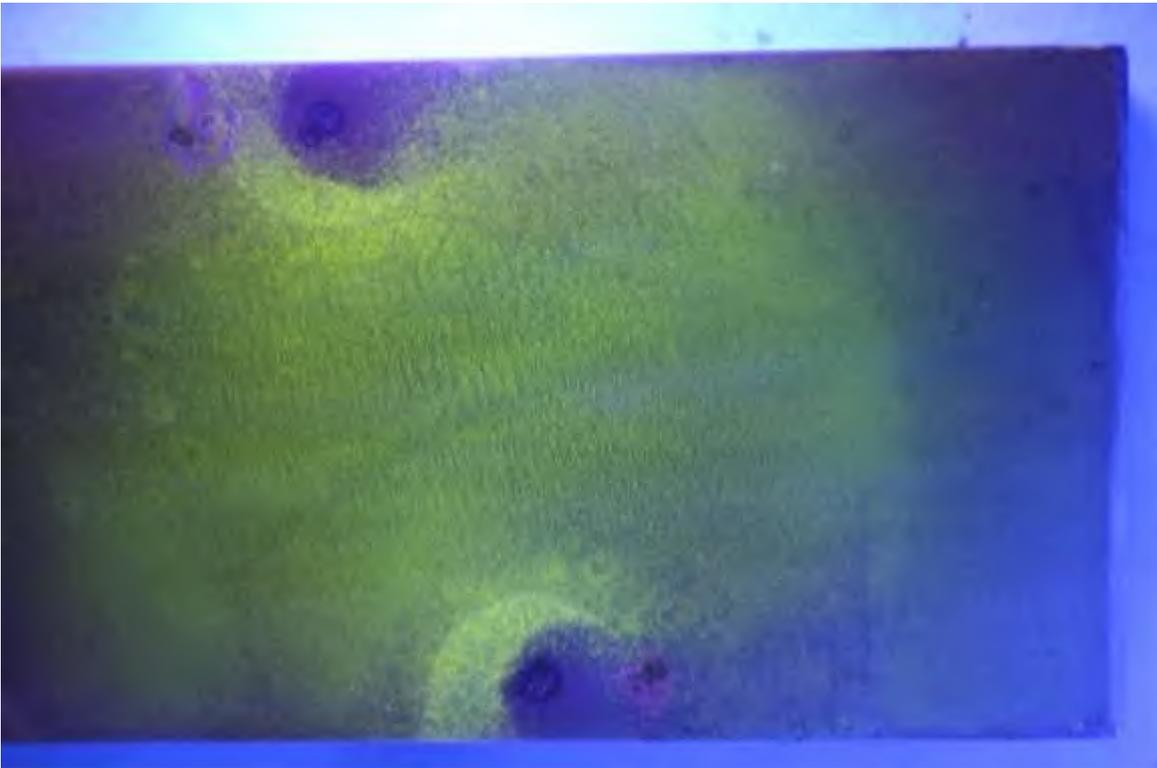


METODE : WET METHODE
PARTIKEL : FLOURESCENT

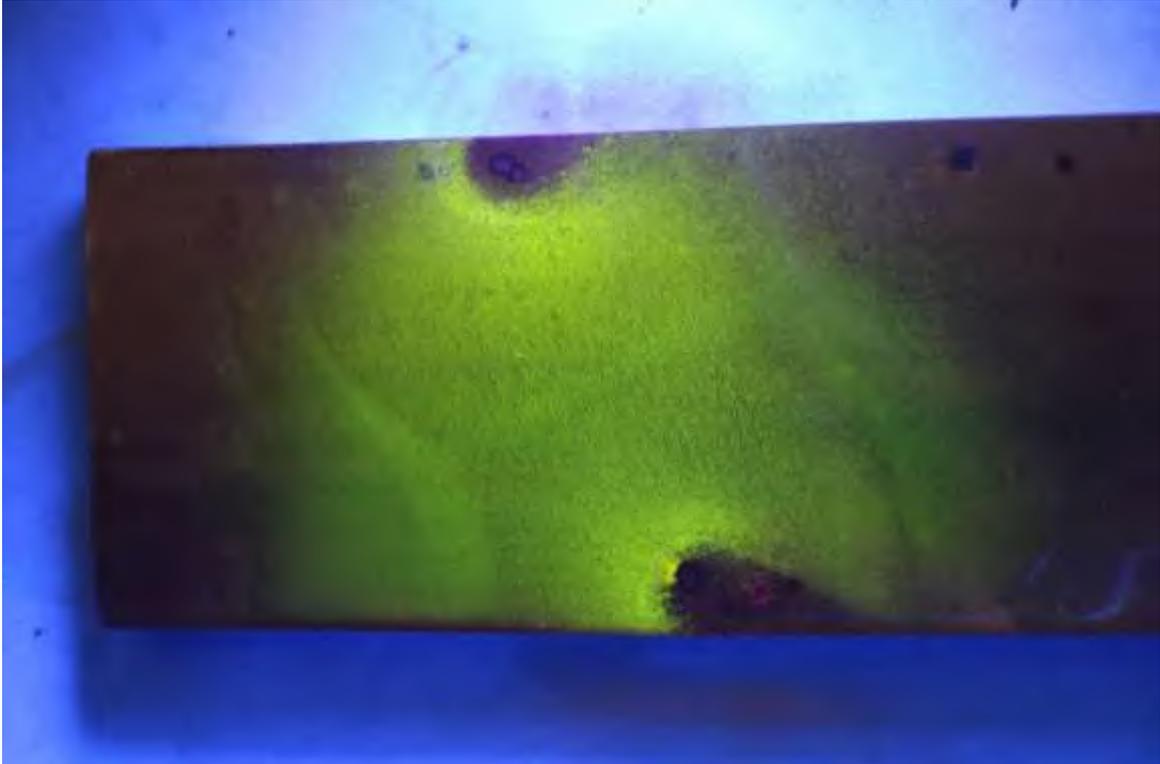
ARUS : AC
t : 4.0 mm



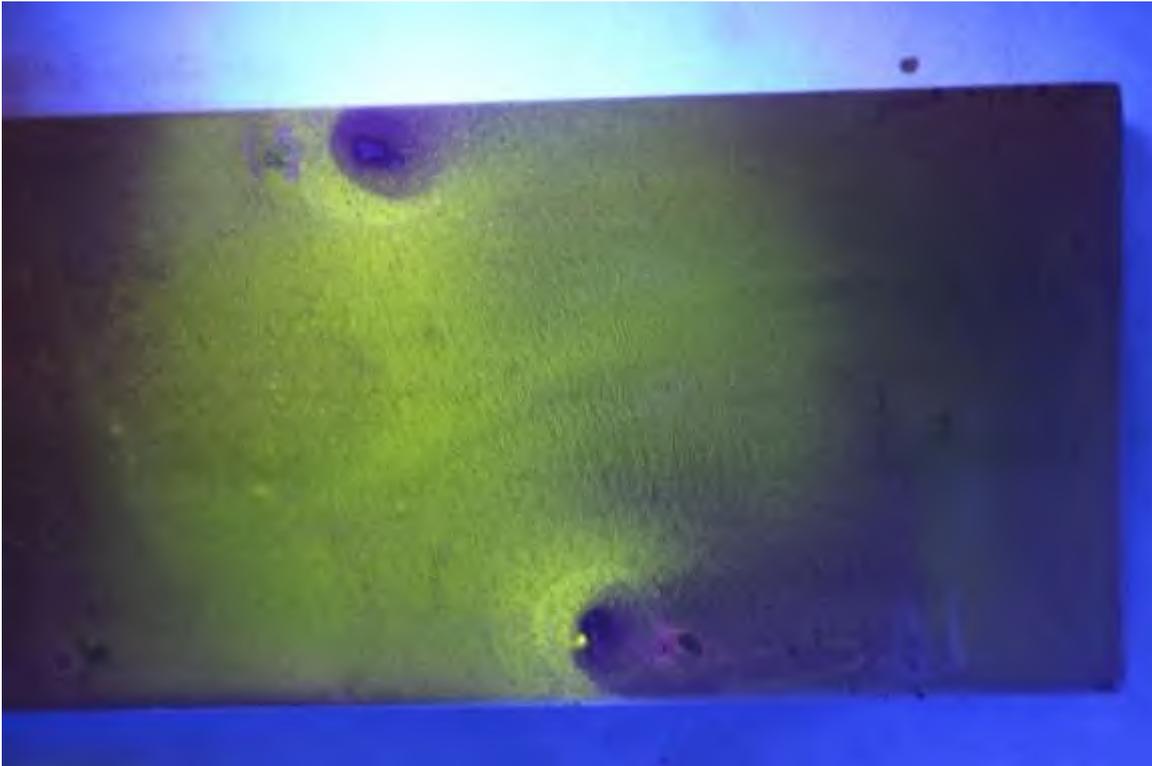
METODE : WET METHODE
PARTIKEL : FLOURESCENT
ARUS : AC
t : 4.5 mm



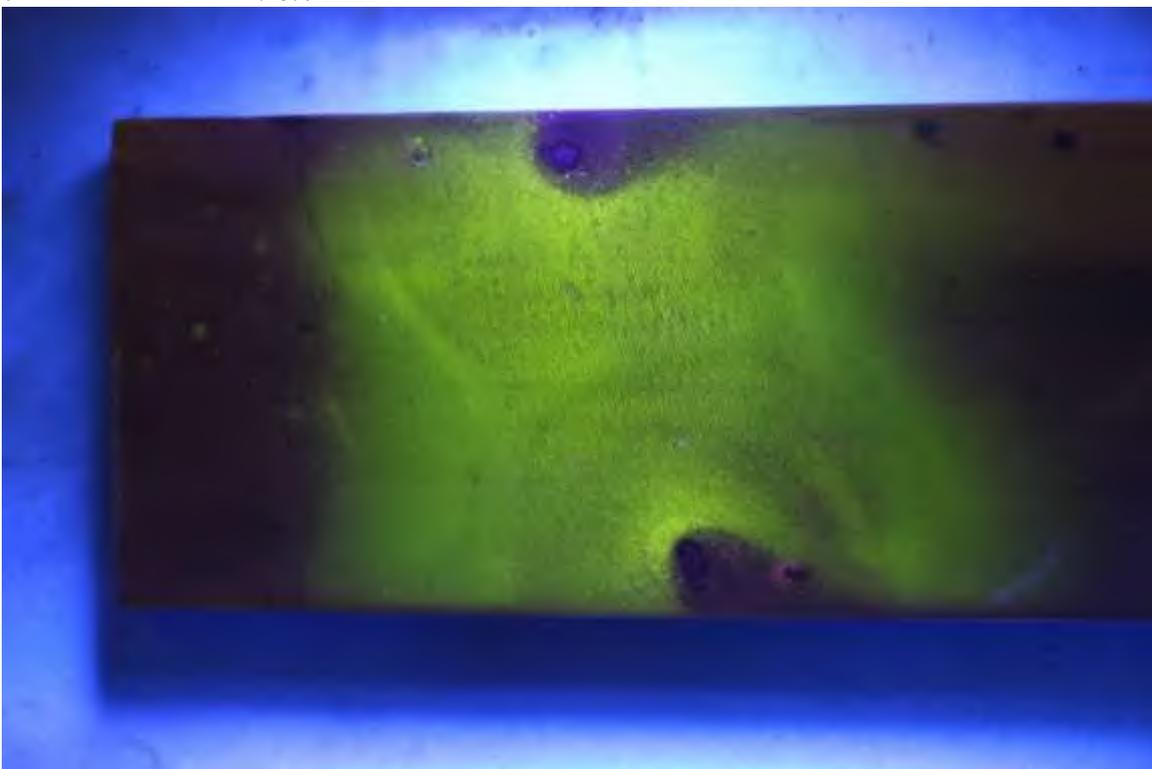
METODE : WET METHODE
PARTIKEL : FLOURESCENT
ARUS : AC
t : 5.0 mm



METODE : WET METHODE
PARTIKEL : FLOURESCENT
ARUS : AC
t : 5.5 mm

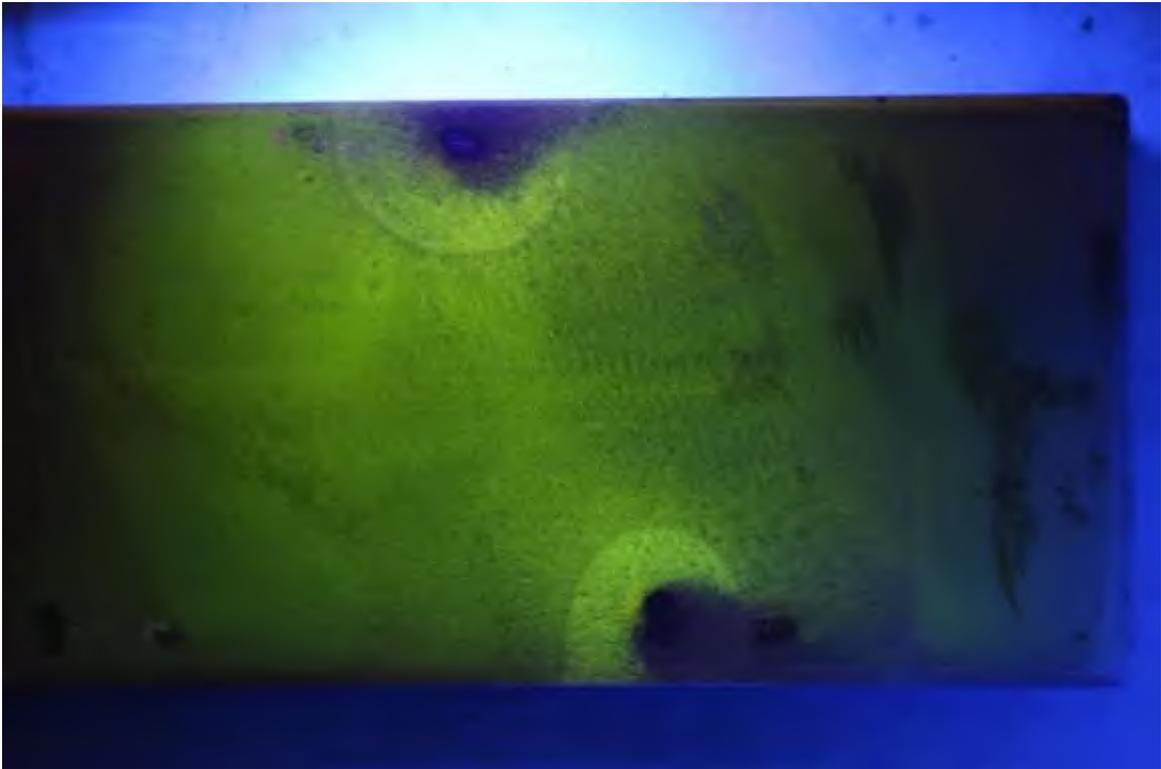


METODE : WET METHODE
PARTIKEL : FLOURESCENT
ARUS : AC
t : 6.0 mm



METODE : WET METHODE

PARTIKEL : FLOURESCENT
ARUS : AC
t : 6.5 mm



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Setelah melakukan proses pengujian partikel magnetic dan melakukan analisa dari hasil pengujian maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan membandingkan antara semua metode dan partikel pada magnetisasi prod diperoleh hasil pendeteksian terdalam pada wet fluorescent sebesar 2 mm
2. Partikel basah lebih sensitif daripada partikel kering karena ukuran partikel basah lebih kecil daripada partikel kering sehingga dengan ukuran lebih kecil mudah pergerakannya untuk menempati garis-garis medan magnet saat penyemprotan.
3. *Wet fluorescent* lebih baik daripada *wet visibel* di dalam pendeteksian dikarenakan material fluorescent memantulkan cahaya ke mata ketika diterangi lampu ultraviolet dalam kondisi ruangan gelap sehingga mata lebih tajam dalam mendeteksi diskontinuitas pada specimen dibandingkan dengan *wet visibel* pada cahaya tampak.
4. MPT pada magnetisasi prod dapat digunakan untuk mendeteksi adanya discontinuitas yang ada pada material high magnetic permeability setebal 1 mm.
5. Dengan membandingkan antara magnetisasi prod dan yoke diperoleh hasil pendeteksian terdalam pada magnetisasi yoke arus AC sebesar 3 mm untuk semua partikel.
6. Magnetisasi yoke lebih dalam pendeteksianya dibanding prod karena yoke menginduksikan medan magnet longitudinal secara lokal (setempat), sedangkan prod mengalirkan langsung arus listrik kepada material secara menyeluruh sehingga yoke lebih peka terhadap pendeteksian.

V.2. Saran

Saran yang diberikan agar percobaan yang dilakukan berikutnya dapat memberikan hasil yang lebih baik dan menyempurnakan percobaan yang telah dilakukan pada Tugas Akhir

ini adalah agar digunakan metode magnetisasi yang lain, misalnya dengan menggunakan coil dan headshot.

DAFTAR PUSTAKA

- ASME.(2001). *Boiler & Pressure Vessel Code, Section V, Non Destructive Examination, Article 7.*
- ASTM.(1989). *Non Destructive Testing Handbook, Second Edition, Volume 6, Magnetic Particle Testing.* USA.
- Betz, C. E. (2000). *Principles of Magnetic Particle Testing* (PDF). American Society for Nondestructive Testing. USA.
- Cullity, B. D.(1972). *Introduction to Magnetic Materials.* Addison-Wesley Publishing Company.
- David J. Griffiths.(1999). *Introduction to Electrodynamics, Prentice Hall.* page 447.
- Hendropresetyo, W.(2003). *Dasar-Dasar Magnetic Particle Testing.* Surabaya.
- NDT Resource Center.(2016, Mei 20). The Collaboration for NDT Education, Iowa State University, from NDT web site: www.ndt-ed.org
- Poetro, Lebdo S.(2011). *Near-field Radiation in Nanoscale Gaps.* Mechanical Engineering Department, MIT.
- Reitz, John R dkk.(1993). *Dasar Teori Listrik Magnet, Edisi ketiga,* Bandung.
- Smilie, Robert W.(2000). *Classroom Training Handbook, Non Destructive Testing, Magnetic Particle.* USA: PH Diversified Inc.
- Sungkono.(2007). *Pengaruh Kedalaman Discontinuitas Sub-surface Terhadap Efektivitas Pendeteksian Dengan Metode Magnetic Partikle Test Pada Logam High Magnetic Permeability, Surabaya.*
- Tipler, Paul A.(2001). *Fisika Untuk Sains & Teknik, Edisi 3, Jilid 2,* Erlangga.

BIODATA PENULIS



Dilahirkan di Kediri pada 19 Juli 1995, Penulis merupakan anak ketiga dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar mulai playgroup sampai dengan SD di SDN 1 Ngadiluwih. Kemudian dilanjutkan di SMPN 1 Ngadiluwih dan SMAN 7 Kediri. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2012 melalui jalur SNMPTN Tulis.

Di Jurusan Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi Kapal dan banyak terlibat dalam kegiatan-kegiatan Tridharma Perguruan Tinggi yang diselenggarakan oleh Laboratorium Konstruksi Kapal. Selama masa studi di ITS, selain aktif berkegiatan di berbagai Unit Kegiatan Mahasiswa dan Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Perkapalan (Himatekpal), Penulis juga mempunyai banyak kegiatan di luar kampus yang berhubungan dengan beladiri dan gemar fotografi.

Email: darul12@mhs.na.its.ac.id