

## ANALISA TEMPERATUR OPTIMAL PADA PROSES PELEPASAN DAYA REKAT COATING EPOXY DAN PLASTIK DI PERMUKAAN BETON/SEMEN DENGAN METODE INDUKSI PANAS

NOGORO<sup>1</sup>, GIAN VILLANY GOLWA<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Bekasi

Email: <sup>1</sup>[nogoro.sihombing7@gmail.com](mailto:nogoro.sihombing7@gmail.com) <sup>2</sup>[gianvgolwa@mercubuana.ac.id](mailto:gianvgolwa@mercubuana.ac.id)

### ABSTRAK

Berbagai macam proses pembersihan permukaan (*surface cleaning*) terhadap cat dan *coating* yang sudah ada saat ini yaitu *Blast Cleaning*, *Chemical Cleaning*, *Manual Cleaning*, *Water Jet Cleaning*, dan *Induction Cleaning* tentu masing-masing metode tersebut mempunyai kekurangan dan kelebihan. Kebutuhan akan keamanan dan kecepatan pada saat proses pembersihan sangat di butuhkan, untuk menjawab kebutuhan itu yang dilakukan pada penelitian kali ini dengan menggunakan metode Induksi panas saat proses pembersihan permukaan suatu objek. Induksi panas pada prinsipnya menggunakan sebuah heater. *Heater* berfungsi sebagai sumber panas utama, dan heater akan mentrasfer panas menuju permukaan cat. Akan tetapi terjadi permasalahan dalam penggunaan induksi panas, yaitu menentukan bentuk kepala induktor yang tepat dan besarnya jarak atau gap yang diperlukan untuk melepaskan ikatan cat pada suatu permukaan. Dengan menerapkan hukum inverse square law pada radiasi, maka semakin besar jarak yang diberikan maka akan semakin kecil daya yang dipancarkan. Semakin kecil daya yang dipancarkan heater, maka kecepatan untuk memanaskan permukaan cat akan semakin lambat, dan sebaliknya. Diharapkan Permukaan cat akan mudah terkelupas jika temperature permukaan mencapai temperature yang optimal dengan jarak yang sudah di tentukan.

**Kata kunci** : Lapisan cat, Pembersihan permukaan, induksi dan hukum kuadrat terbalik.

### ABSTRACT

Various types of surface cleaning processes for paints and coatings that are currently available, namely Blast Cleaning, Chemical Cleaning, Manual Cleaning, Water Jet Cleaning, and Induction Cleaning, of course, each of these methods has advantages and disadvantages. The need for security and speed when the cleaning process is very much needed, to answer that need is done in this study by using the Induction method of heat during the process of cleaning the surface of an object. Heat induction in principle uses a heater. The heater functions as the main heat source, and the heater will transfer heat to the paint surface. However, problems occur in the use of heat induction, which determines the shape of the right inductor head and the amount of distance or gap needed to release the paint bond on a surface. By applying inverse square law to radiation, the greater the distance given, the smaller the power emitted. The smaller the power emitted by the heater, the faster the surface of the paint will be, and vice versa. It is expected that the paint surface will be easily peeled off if the surface temperature reaches the optimal temperature with the specified distance.

**Keywords:** Paint coating, surface cleaning, induction and inverse square law.

## 1. PENDAHULUAN

Pelapisan berarti suatu zat yang diaplikasikan pada bahan lain untuk mengubah sifat permukaan, seperti warna, kilap, ketahanan terhadap keausan atau serangan kimiawi, atau permeabilitas, tanpa mengubah sifat curah. Istilah ini sering mengacu pada cat seperti lak atau enamel, tetapi juga mengacu pada film yang diterapkan pada bahan lain seperti pernis, sealant, perekat, tinta, maskants, dan lapisan pelindung sementara. Bahan-bahan tersebut termasuk, tetapi tidak terbatas pada, cat, pernis, sealant, perekat, tinta, maskants, dan lapisan pelindung sementara. Pelapisan biasanya disebut sebagai dekoratif atau pelindung, tergantung pada apakah alasan utama untuk penggunaannya adalah untuk mengubah atau mempertahankan penampilan atau untuk melindungi permukaan (Rao et al. 2016).

Lapisan (*coating*) pada sebuah produk sulit untuk dihilangkan, karena lapisan tersebut dirancang untuk tetap bertahan selama jangka waktu penggunaan produk. Dan saat ini ada beberapa jenis material coating yang digunakan sesuai dengan kebutuhan, salah satunya *coating* epoxy dan *coating* plastik. Ketika masa pakai sebuah produk berakhir, dalam prakteknya di industri dilakukan proses rekondisi, yaitu proses untuk memperbaiki kondisi produk yang telah habis masa pakainya, untuk dikembalikan seperti kondisi baru atau memiliki performa yang lebih baik dari sebelumnya (Li et al. 2016). Pelapisan dapat dibagi menjadi dua kelompok besar: pelapis arsitektur dan pelapis industri. Lapisan arsitektur adalah yang digunakan untuk mendekorasi dan melindungi rumah dan bangunan lainnya. Jika pelapis digunakan pada bagian bangunan yang terpapar pada kondisi atmosfer, lapisan ini disebut lapisan luar. Pelapis seperti ini biasanya terbuat dari bahan yang tidak ringan (radiasi) sensitif atau distabilkan terhadap serangan oleh radiasi dari panjang gelombang yang berbeda. Jika mereka digunakan pada bagian dalam bangunan, mereka disebut sebagai pelapis interior; kelompok ini selanjutnya dipecah menjadi cat langit-langit, cat tembok, pernis, cat tembok, dan noda. Lapisan industri

adalah pelapis yang diterapkan pada produk-produk yang diproduksi oleh pabrik. Ini termasuk, tetapi tidak terbatas pada, lapisan transportasi (pelapis yang diaplikasikan pada pesawat terbang, peralatan, mobil, bus, kendaraan rekreasi, truk, dan kereta api) minuman-kaleng dan pelapis semprot-kaleng, barang-barang pengemasan, mesin bisnis dan pelapis perabot kantor, lemari kayu dan pelapis furnitur, pelapis pipa, papan sirkuit cetak dan pelapis perakitan, pelapis tanda, pelapis laut, dan pelapis batu (Koleske 2006).

Pembersihan remanufacturing, yang bertujuan untuk menyingkirkan cat, deposit karbon, lemak, karat dan sebagainya pada permukaan produk limbah untuk memenuhi kebutuhan kebersihan permukaan, merupakan prosedur penting dari proses remanufaktur dan fondasi pengujian limbah produk dan komponen. Efek pembersihan secara langsung mempengaruhi pengecekan permukaan, pengecatan, perakitan dll. Proses pembersihan adalah prosedur intensif energi dan pencemaran serius di seluruh proses remanufaktur. Berbagai deterjen menyebabkan polusi serius terhadap lingkungan dan beberapa deterjen limbah memerlukan penanganan khusus. Seiring meningkatnya suara untuk produksi yang lebih bersih, banyak metode pembersihan industri muncul. Tapi apakah teknologi pembersih itu efisien tinggi atau ramah lingkungan telah menjadi isu sentral (Peng et al. 2015).

Industri persiapan permukaan membutuhkan teknologi baru untuk menggantikan proses *decoating* yang ada. Memang, metode saat ini terlalu mahal atau menjadi dibatasi oleh aturan lingkungan. Salah satu contoh pengupasan konvensional adalah dengan proses kimia, yang menjadi tidak populer karena tindakan berbahaya dari komponen organik yang mudah menguap. Selain itu, peledakan abrasif, seperti pasir dan peledakan pasir, dapat segera dilarang untuk digunakan karena masalah lingkungan yang terkait dengan pelepasannya ke udara atau air dan pembuangan logam berat yang digunakan. Metode lain yang sudah berkembang yaitu dengan *sand blasting*, *water jett*, & *thermal open flame*

mempunyai berbagai kelebihan dan kelemahan. Metode yang telah berkembang saat ini untuk proses pelepasan cat atau lapisan (*surface cleaning*) terlalu memakan banyak biaya dan terkendala oleh peraturan tentang lingkungan (Mabrouki and Raissi 2002). Diperlukan metode yang aman, cepat, satu metode yang bisa diaplikasikan untuk proses *surface cleaning* yang aman, cepat, murah dan ramah lingkungan adalah menggunakan panas. Pelepasan *coating* menggunakan induksi panas pada prinsipnya menggunakan pemanas induksi/*heater*. *Heater* di setting dengan temperature tertentu sesuai jenis cat atau lapisan yang digunakan. Maka dari itu diperlukan penelitian untuk mengetahui temperatur optimal yang diperlukan dalam pelepasan daya rekat *coating* epoxy dan plastik.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

Cat adalah suatu cairan yang dipakai untuk melapisi permukaan suatu bahan dengan tujuan memperindah, memperkuat, atau melindungi bahan tersebut. Setelah dikenakan pada permukaan dan mengering, cat akan membentuk lapisan tipis yang melekat kuat pada permukaan tersebut. Pelekatan cat ke permukaan dapat dilakukan dengan banyak cara : diusapkan, dilumurkan, dikuas, disepatkan, dsb (Fajar Anugerah 2009).

Emulsi merupakan suatu jenis koloid dengan fase terdispersi berupa zat cair dalam medium pendispersi padat, cair, dan gas. Cat tembok *water based* disebut juga cat emulsi, dimana terdapat emulsi antara air dan minyak dalam formulasinya. Dalam emulsi pada masing-masing komponen pembentuknya sudah terdapat emulsifer berupa *surfactan*. Komponen atau bahan penyusun dari cat terdiri dari binder (resin), pigmen, *solvent* dan *additive* (Fajar Anugerah 2009).

### a. Binder

Zat pengikat atau binder merupakan bahan yang mengikat antara partikel pigmen cat, sehingga cat dapat membentuk lapisan tipis yang rapat ketika digunakan. Binder bertugas merekatkan partikel-partikel

pigmen kedalam lapisan film cat dan membuat cat merekat pada permukaan. Tipe binder dalam suatu formula cat menentukan banyak hal dari performa cat. Binder dibuat dari material bernama resin yang biasa dari bahan alam juga sintetis. Cat dapat berbinder *natural oil*, *alkyd*, nitro sellulosik, poliester, melamin, akrilik, epoksi, poliurethane, silikon, fluorokarbon, vinil, sellulosik, dan lain-lain.

### b. Pigmen

Pigmen berperan sebagai zat pemberi warna utama pada cat. Pigmen dapat dibagi menjadi 2 yaitu organik dan non organik. Pigmen non organik dibuat dari beberapa logam (oksida logam) sedangkan pigmen organik dibuat dari bahan minyak bumi (*carbon based*). Pigmen lebih jauh lagi dapat dibagi menjadi pigmen utama dan *pigmen extender*. Pigmen utama memberikan cat dengan daya tutup dan warna. Sedangkan *pigmen extender* membantu memperkuat pigmen utama.

### c. Solvent

*Solvent* atau pelarut berfungsi untuk menjaga kekentalan cat agar tetap cair saat digunakan, selain itu juga sebagai media pendispersi. Sebuah cat membutuhkan bahan cair agar partikel pigmen, binder dan material padat lainnya dapat mengalir. Cairan pada suatu cat disusun oleh *solvent* minyak dan atau *diluent*. Keduanya adalah suatu cairan yang dapat melarutkan (*dissolve*) suatu material. Keduanya juga disebut *thinner* karena keduanya mempunyai kemampuan untuk mengencerkan cat ke kekentalan yang diinginkan.

### d. Additive

*Additive* merupakan bahan yang ditambahkan dalam cat untuk menambahkan *property* atau sifat-sifat cat sehingga dapat meningkatkan kualitas

cat. Sebagai tambahan selain *liquid*, pigmen dan binder, suatu cat dapat mengandung satu atau lebih aditif (zat tambahan) yang berfungsi untuk meningkatkan performansi, dan biasanya digunakan dalam jumlah yang sangat kecil. Hal ini mempengaruhi fitur vital dari tergantung penggunaan akhir cat terutama kemampuan *flow* dan *leveling* dari cat.

## 2.1 Coating Epoxy

*Epoxy* adalah suatu *kopolimer*, terbentuk dari dua bahan kimia yang berbeda. Ini disebut sebagai "resin" dan "pengeras". Resin ini terdiri dari *monomer* atau *polimer* rantai pendek dengan kelompok *epoxyda* di kedua ujung. *Epoxy* resin paling umum yang dihasilkan dari reaksi antara epiklorohidrin dan bisphenol-A, meskipun yang terakhir mungkin akan digantikan dengan bahan kimia yang serupa. Pengeras terdiri dari *monomer polyamine*, misalnya *Triethylenetetramine (Teta)*. Ketika senyawa ini dicampur bersama, kelompok *amina* bereaksi dengan kelompok *epoxyda* untuk membentuk ikatan *kovalen*. Setiap kelompok NH dapat bereaksi dengan kelompok *epoxyda*, sehingga polimer yang dihasilkan sangat silang, dan dengan demikian kaku dan kuat. Proses *polimerisasi* disebut "curing", dan dapat dikontrol melalui suhu, pilihan senyawa resin dan pengeras, dan rasio kata senyawanya; proses dapat mengambil menit untuk jam. Beberapa formulasi manfaat dari pemanasan selama masa penyembuhan, sedangkan yang lainnya hanya memerlukan waktu, dan suhu *ambien* (Bahadori, 2015).

## 2.2 Rubber Coating

Dalam dunia *coating* ada material cat yang mempunyai kelenturan seperti karet, sehingga hasil yang didapat berupa seperti bahan karet, yaitu lentur, kuat, keras dan

dapat diaplikasikan dengan mudah layaknya cat, material ini dinamakan dengan *rubber*. *Rubber coating* atau *rubber paint* adalah material cat yang berfungsi untuk melindungi besi atau baja dari korosi dan juga berfungsi sebagai pelindung dari *abrasive* atau gesekan. Benda-benda yang biasanya mendapatkan pelapisan karet ini contohnya adalah: baja ringan, stainless steel, besi cor, aluminium dan beberapa benda lainnya. *Rubber coating* ini sangatlah dibutuhkan oleh dunia industri atau manufacturing baik industri kimia maupun industri yang terkait lainnya. Biasanya karet dipasang atau dilapiskan pada permukaan alat atau benda yang bersentuhan langsung dengan bahan kimia baik pada proses produksinya maupun pada peralatan tempat bahan kimia tersebut dialirkan atau dipindahkan.

## 2.3 Metode Pelepasan Cat

Proses pelepasan cat dilakukan ketika benda mengalami proses rekondisi. Benda yang direkondisi biasanya sudah berkurang fungsi dan masa pakainya, sehingga harus dilakukan rekondisi agar benda tersebut kembali ke performa awalnya. Tujuan dari proses pelepasan cat adalah untuk membersihkan permukaan benda dari kotoran yang menempel, sekaligus mempersiapkan permukaan benda tersebut untuk di cat ulang. Permukaan benda yang akan di cat ulang harus bersih dari kotoran dan sisa cat lama yang menempel. Kualitas dari cat atau *coating* secara signifikan dipengaruhi oleh kemampuannya untuk menempel pada permukaan (adhesi). Permukaan yang bersih akan menghasilkan daya adhesi yang baik antara lapisan cat dengan permukaan benda (Bahadori 2015)

Dalam perkembangannya hingga saat ini, terdapat beberapa metode pelepasan cat yang umum digunakan. Masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan, sehingga tidak ada metode *universal* yang dapat diaplikasikan ke semua jenis permukaan. Terdapat beberapa faktor dan

pertimbangan sebelum memilih metode mana yang tepat yang digunakan untuk permukaan tertentu. Terdapat 4 metode pelepasan cat yang umum dipakai pada proses rekondisi suatu benda:

- a. *Blast Cleaning*
- b. *Chemical Cleaning*
- c. Panas (*Flame*)
- d. *Manual Cleaning*

a) *Blast Cleaning*

*Blast Cleaning* dapat diartikan sebagai sebuah proses erosi. Erosi dalam pengertian *blast cleaning* adalah sebuah proses untuk menghilangkan atau mengangkat suatu material dari sebuah permukaan bahan yang disebabkan oleh tumbukan dari partikel padat (Teimourian, Shabgard, and Momber 2010). *Blast Cleaning* adalah salah satu metode *surface treatment* yang paling banyak digunakan dalam industri modern. Teknologi *Blast Cleaning* ditemukan oleh Benjamin Chew Tilghman (1821–1901), seorang ilmuwan Amerika. Metode *Blast Cleaning* menurut ISO 12944-4, 1998 adalah sebuah metode dimana media *blasting* diberikan fluida bertekanan tinggi sehingga mengalami percepatan, kemudian media *blasting* tersebut diarahkan ke permukaan yang akan dibersihkan.(Teimourian, Shabgard, and Momber 2010)

Metode *blast cleaning* memiliki kelebihan dan juga kekurangan. Kelebihan dari metode *blast cleaning* adalah sebagai berikut :

- Dapat digunakan untuk menghilangkan lapisan cat, kotoran atau kontaminan apapun dari permukaan material.
- Pengoperasian relatif mudah dan dapat flexible.
- Mudah digunakan untuk pengoperasian yang berpindah-pindah.

Selain kelebihan diatas, metode *blast cleaning* juga memiliki kekurangan. Kekurangan dari metode *blast cleaning* adalah sebagai berikut :

- Biaya modal awal dan biaya perawatan alat yang tinggi.
- Hasil pekerjaan bergantung terhadap keahlian operator.
- Memerlukan alat pelindung keselamatan khusus untuk pengoperasiannya.
- Penggunaan material *abrasive* dapat berbahaya terhadap kesehatan dan lingkungan; debu dari material *abrasive* dapat berbahaya terhadap kesehatan operator dan juga dapat mencemari lingkungan.
- Waktu yang dibutuhkan relatif lama untuk pengerjaannya.
- Limbah yang dihasilkan dari proses *blast cleaning* relatif banyak.

**Tabel 1.** Metode *Blast Cleaning* berdasarkan ISO 12944-4 (1998)

Blast Cleaning Methods	Dry abrasive blast cleaning	Centrifugal abrasive blast cleaning
		Compressed-air abrasive blast cleaning
		Vacuum or suction-head abrasive blast cleaning
	Moisture-injection abrasive blast cleaning	
	Wet abrasive blast cleaning	Compressed-air wet abrasive blast cleaning
		Slurry blast cleaning
		Pressurized-liquid blast cleaning
Particular applications of blast cleaning		Sweep blast cleaning
		Spot blast cleaning

b) *Chemical Cleaning*

*Chemical Cleaning* adalah metode pelepasan cat dengan menggunakan bahan kimia untuk melepaskan ikatan adhesi cat dengan permukaan benda. Bahan kimia yang digunakan untuk *chemical cleaning* adalah campuran dari *methylene chloride*, *methanol* dan *solvent* seperti *toluene* dan *acetone*. Penggunaan *methylene chloride* memiliki keuntungan tersendiri yaitu dapat digunakan di hampir semua jenis cat / coating dan cocok untuk berbagai jenis permukaan. *Methylene chloride* terbentuk

dari molekul kecil non-kompleks yang menyebabkannya menjadi sangat mudah menguap (Arndt and Canum 2007). Sifat mudah menguap dari *methylene chloride* menjadi kelemahan dari metode *chemical cleaning*. Hal tersebut berkaitan dengan keamanan dari pengguna dan dampak terhadap lingkungan.

Selama lebih dari 20 tahun terakhir, berbagai macam inovasi telah dilakukan untuk membuat *chemical cleaning* menjadi lebih aman terhadap penggunaannya dan lingkungan. Inovasi tersebut menghasilkan produk yang memiliki tingkat HAPS (*Hazardous Air Pollutants*) dan VOCs (*Volatile Organic Compounds*) yang lebih rendah (Arndt and Canum 2007). Selain itu juga berlakukan beberapa regulasi untuk kepentingan mengurangi bahaya dari *chemical cleaning* (Young et al. 2015).

#### c) Pelepasan cat dengan menggunakan panas

Metode ini menggunakan nyala api (*flame*) untuk memanaskan permukaan benda yang akan dilepas cat nya. Sebelum menggunakan metode ini, lapisan cat yang cukup tebal harus dihilangkan terlebih dahulu secara manual untuk memudahkan proses pelepasan. Metode ini digunakan pada permukaan atau kondisi tempat kerja yang tidak memungkinkan untuk dilakukan *blast cleaning*. Metode ini tidak terlalu populer digunakan karena cat yang diaplikasikan pada permukaan yang dikenakan perlakuan *blast cleaning* lebih awet dibandingkan permukaan yang dikenakan perlakuan panas (*flame*) (Bahadori 2015).

Selain menggunakan *flame*, dapat juga digunakan sumber panas yang lain seperti induksi panas dari *coil* dan radiasi panas dari infrared atau laser. Metode tersebut sudah mulai dikembangkan, sebagai pengganti metode *blast cleaning* dan *chemical cleaning*. Alasannya adalah karena metode tersebut lebih ramah lingkungan dan aman terhadap pekerjaanya.

#### d) *Manual Cleaning*

Proses pelepasan cat dengan cara manual adalah cara yang paling sederhana dan memerlukan banyak waktu. Metode ini menggunakan peralatan pekas tangan seperti gerinda, *sand paper*, sikat besi, pahat dan *scraper*. Metode pelepasan cat secara manual ini dilakukan untuk mengurangi lapisan cat yang cukup tebal, sebelum nantinya dilakukan pembersihan dengan metode lain. Pelepasan cat secara manual ini juga dapat dilakukan setelah metode yang lain dilakukan. Contohnya seperti melepaskan cat dengan menggunakan panas, setelah lapisan cat terangkat dari permukaan diperlukan pembersihan manual untuk melepaskan lapisan cat tersebut. Diperlukan lebih sedikit usaha karena lapisan cat yang sudah terangkat akan lebih mudah dibersihkan dibandingkan sebelum dilakukan pemanasan.

## 2.4 Radiasi Termal

Radiasi adalah proses dimana energi bergerak melalui media atau melalui ruang dan akhirnya diserap oleh benda lain. Radiasi termal adalah proses dimana permukaan benda memancarkan energi panas dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Radiasi infra merah dari pemanas listrik adalah contoh radiasi termal, sama seperti panas dan cahaya yang dikeluarkan oleh sebuah bola lampu pijar bercahaya.

Radiasi termal dihasilkan ketika panas dari pergerakan partikel bermuatan dalam atom diubah menjadi radiasi elektromagnetik. Radiasi termal dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Dalam radiasi, terdapat 2 istilah penting untuk diketahui, yaitu Emisivitas dan Absorptivitas. Emisivitas dan Absorptivitas memiliki pengertian yang berbeda namun saling berhubungan.

## a) Emisivitas

Emisivitas adalah ukuran dari kemampuan suatu benda untuk meradiasikan energi yang diserapnya dibandingkan dengan benda hitam. Faktor yang mempengaruhi emisivitas adalah temperature benda, panjang gelombang yang dipancarkan dan sudut emisi. Emisivitas biasanya diukur secara eksperimen, arahnya terhadap permukaan benda dan panjang gelombang (Klobu and Co-adviser 2016). Suatu objek pada temperatur bukan nol mutlak meradiasikan energi elektromagnetik. Jika benda ini adalah benda hitam sempurna, benda itu akan memancarkan energi setara dengan energi yang diserapnya berdasarkan persamaan radiasi benda hitam. Secara umum, jika benda itu bukan benda hitam sempurna, maka akan meradiasikan sejumlah energi yang memiliki rasio berdasarkan benda hitam sempurna, yang disebut emisivitas.

## b) Absorptivitas

Absorptivitas adalah fraksi cahaya (atau energi) yang diserap suatu benda atau permukaan. Hukum Kirchhoff menyatakan bahwa pada keseimbangan termal, tingkat emisi suatu benda atau permukaan setara dengan jumlah penyerapannya. Dalam bentuk yang lebih umum, energi ini harus diintegrasikan berdasarkan semua jenis panjang gelombang cahaya dan sudut datang cahaya. Dalam beberapa kasus, tingkat emisi dan penyerapan hanya dapat didefinisikan berdasarkan panjang gelombang dan sudut datang tertentu (Klobu and Co-adviser 2016).

## 2.5 Intensitas Radiasi

Pada tahun 1879 seorang ahli fisika dari Austria, Josef Stefan melakukan eksperimen untuk mengetahui karakter universal dari radiasi benda hitam. Beliau menemukan bahwa daya total per satuan luas yang

dipancarkan pada semua frekuensi oleh suatu benda hitam panas (intensitas total) adalah sebanding dengan pangkat empat dari suhu mutlaknya. Sehingga dapat dirumuskan:

Dengan :

$I$  : Intensitas Radiasi [ $W/m^2$ ]

$P$  : Daya Radiasi [W]

$A$  : Luas Permukaan [ $m^2$ ]

Dengan :

$I$  : Intensitas Radiasi [ $W/m^2$ ]

$e$  : Emisivitas Radiasi

$\sigma$  : Ketetapan Boltzman :  $5,67 \times 10^{-8}$  [ $W/m^2K^4$ ]

$T$  : Temperature [K]

### 2.4.2 Daya Radiasi

Dengan mensubstitusikan persamaan (1) dan (2) maka daya radiasi adalah :

Daya radiasi berbanding lurus dengan emisivitas, luas permukaan dan temperature radiasi. Semakin besar luas permukaan, nilai temperature benda yang beradiasi, dan kemampuan benda sumber panas memancarkan panas maka semakin besar daya yang dihasilkan.

**2.6 Inverse Square Law**

*Inverser Square Law* atau disebut juga hukum kuadrat terbalik dalam fisika, hukum kuadrat terbalik adalah setiap hukum fisika yang menyatakan bahwa kuantitas atau intensitas fisik tertentu berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari sumber kuantitas fisik tersebut. Penyebab mendasar untuk ini dapat dipahami sebagai pengenceran geometrik yang sesuai dengan radiasi sumber-titik menjadi ruang tiga dimensi. Diformulasikan secara matematis (Voudoukis and Oikonomidis 2017):

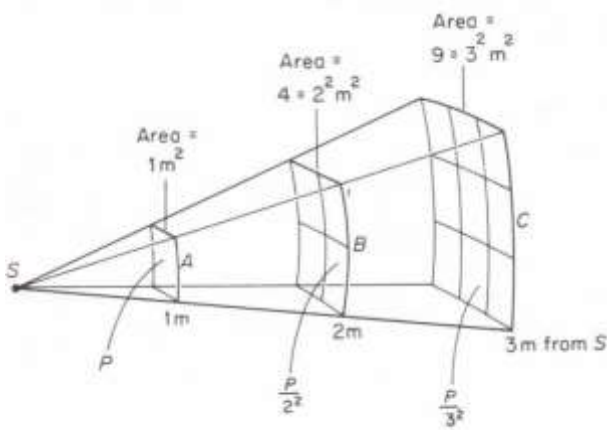
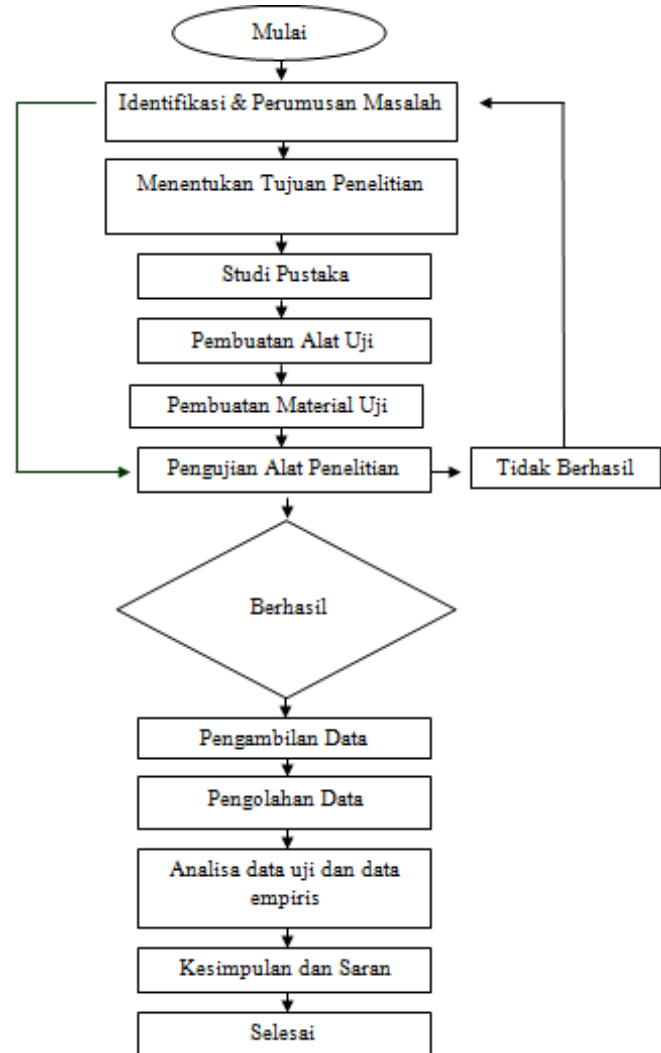


Fig. 26.20. Inverse square law for electromagnetic waves

**Gambar 1.** Inverse Square Law

berdasarkan kebutuhan yang ada dan merupakan suatu rangkaian proses panjang yang terkait dan sistematis. Penelitian yang baik akan menghasilkan kesimpulan yang baik pula. Agar penelitian berjalan baik dan terarah diperlukan kerangka penelitian yang berisi deskripsi langkah-langkah yang dilakukan dari tahap identifikasi dan perumusan masalah hingga kesimpulan. Dalam pembuatan tugas akhir ini tahapan yang dilakukan dalam penelitian temperetur optimal pada proses pelepasan daya ikat *coating* epoxy dan plastik di permukaan beton/semen dengan metode induksi panas digambarkan dalam diagram alir berikut ini :



**Gambar 2.** Diagram penelitian

**3. METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian adalah proses mempelajari, memahami, menganalisis, serta memecahkan masalah

Metode yang digunakan penulis adalah metode kuantitatif. Pengolahan data penelitian dengan



metode kuantitatif dilakukan dengan mengembangkan atau menggunakan model matematis, pengamatan secara empiris dan pengukuran. Penelitian dengan metode kuantitatif biasanya membutuhkan sample sebagai basis data analisa penelitian. Penulis meneliti tentang besarnya nilai temperatur yang efektif untuk metode pelepasan cat dengan menggunakan radiasi panas menggunakan metode kuantitatif. Penulis menguji pelepasan cat dengan mengubah besarnya temperatur untuk melihat perbedaan hasilnya. Hasil tiap sample akan dianalisa secara visual untuk melihat efek perubahan temperatur.

### 3.1 Alat Dan Bahan Pengujian

Berikut ini adalah penjabaran dari alat-alat dan bahan yang digunakan untuk pengujian temperatur optimal pada pelepasan daya rekat *coating* epoxy dan plastik di permukaan beton/semén dengan metode induksi panas :

#### a. *Induction Heater Portable*

*Induction heater* adalah system pemanas dengan menggunakan induksi medan magnet yang dihasilkan dari frekuensi tinggi. Hal ini dapat terjadi dikarenakan pada objek timbul arus Eddy atau arus pusat yang arahnya melingkar melingkupi medan magnet yang menembus objek. Pemanasan Induksi (*Induction Heating*) pada prinsipnya dapat dijelaskan dengan prinsip kerja *transformator*. *Transformator* bekerja karena adanya fenomena induksi elektromagnetik yang mana ketika ada suatu rangkaian tertutup yang di dalamnya mengalir arus AC menghasilkan medan elektromagnetik yang berubah-ubah pula. Seperti yang terjadi *transformator*, medan elektromagnetik (pada kumparan primer) yang berubah-ubah tersebut mempengaruhi kumparan sekunder dan pada kumparan sekunder timbul ggl induksi dan mengalir arus AC jika kumparan sekunder merupakan rangkaian tertutup.

Besarnya arus pada kumparan sekunder (I<sub>2</sub>) ditentukan dari besarnya arus pada kumparan primer (I<sub>1</sub>) dan perbandingan lilitan antara kumparan primer dan sekunder (N<sub>1</sub>/N<sub>2</sub>). Seperti pada Gambar 2.1, ketika kumparan sekunder kita ganti dengan 1 kawat (N<sub>2</sub>=1) dan dijadikan

rangkaiian tertutup, maka kita akan mendapatkan nilai perbandingan lilitan yang besar dari kumparan primer dan sekunder dan akan menimbulkan arus sekunder (I<sub>2</sub>) yang besar. Hal ini juga akan diikuti oleh kenaikan panas yang cukup besar karena adanya kenaikan beban tersebut.

Hal yang dapat menentukan banyaknya arus Eddy pada logam adalah :

1. Besar medan magnet yang menginduksi logam.
2. Bahan logam yang digunakan untuk menghasilkan panas. Semakin kecil hambatan jenis logam, semakin baik untuk dijadikan obyek panas logam.
3. Luas permukaan logam, makin luas permukaan logam maka makin banyak arus *eddy* pada permukaan logam tersebut
4. Besar frekuensi, makin besar frekuensi maka makin banyak medan magnet yang dihasilkan.

Karakteristik *Induction Heater* adalah sebagai berikut:

Secara teknis:

1. Mampu melepaskan panas dalam waktu yang relatif singkat. Hal ini dikarenakan kerapatan energinya tinggi.
2. Dengan induksi dimungkinkan untuk mencapai suhu yang sangat tinggi.
3. Pemanasan dapat dilakukan pada lokasi tertentu.
4. Sistem dapat dibuat bekerja secara otomatis.

Pemakaian energi:

1. Pemanas induksi secara umum memiliki efisiensi energi yang tinggi, akan tetapi hal ini bergantung pada karakteristik material yang

dipanaskan.

- Rugi-rugi pemanasan dapat ditekan seminimal mungkin.

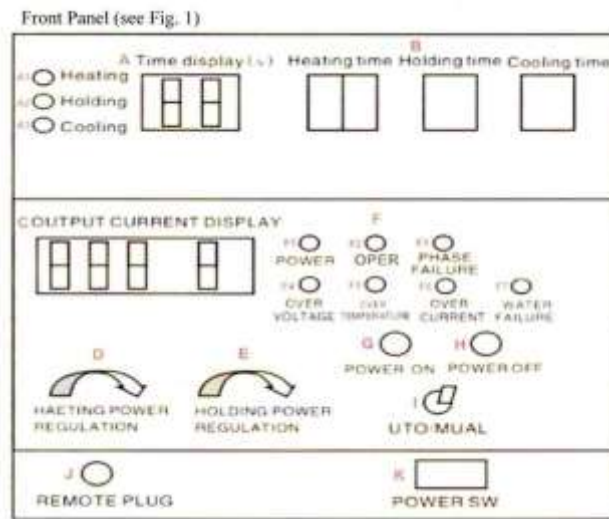
Sebelum dilakukan perancangan atau pembuatan alat induction heating untuk pengujian, dibuatkan terlebih dahulu JSA untuk menjaga keselamatan dalam pengerjaan alat dan pengujian alat serta mempertimbangkan resiko kecelakaan. Berikut ini adalah spesifikasi dari *induction heater* yang digunakan :



Gambar 3. Induction heater portable

Tabel 2. Parameter teknis

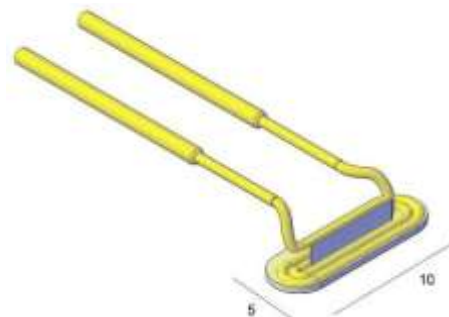
Model	JL-15KW
Input power desire	Single phase 220V 50/60HZ
Oscillate power max	15KW
Max input current	37A
Max input power	7KW
Oscillate frequency	30-100KHZ
Cooling water desire	>0.2MPa 2-6L/Min
Duty cycle	80% 40°C
Dimensions(L*W*H)	500*210*460mm
Net weight	25kg
Cable length	2-6 (Meter)



Gambar 4. Deskripsi fungsi panel

b. Inductor head coil

Heater yang digunakan pada alat ini yaitu coil induksi yang menghasilkan elektromagnetik bidang. Medan magnet ini menginduksi eddy arus dalam konduktif.



Gambar 5. Inductor head coil

Medan magnet yang tinggi akan dapat menyebabkan sebuah beban dalam kumparan kerja tersebut melepaskan panasnya, sehingga panas yang ditimbulkan oleh beban tersebut justru dapat melelehkan beban itu sendiri. Karena panas yang dialami oleh beban akan semakin tinggi, hingga mencapai nilai titik leburnya.

**Gambar 6. Scraper**

- c. Pompa air  
Pompa air di gunakan untuk membantu menyerap dan mengalirkan air yang berfungsi sebagai penghantar arus elektromagnetik yang di produksi oleh kapasitor dan sebagai pendingin dari mesin.
- d. *Scraper*  
*Scraper* digunakan untuk membantu membersihkan cat dan *coating* yang sudah dipanaskan dengan *heater*. Setelah ikatan hidrokarbon melemah pada saat dipanaskan maka cat pada saat itu dapat dibersihkan dengan *scraper* untuk membantu memutuskan ikatan hidrokarbon cat yang menempel pada beton.

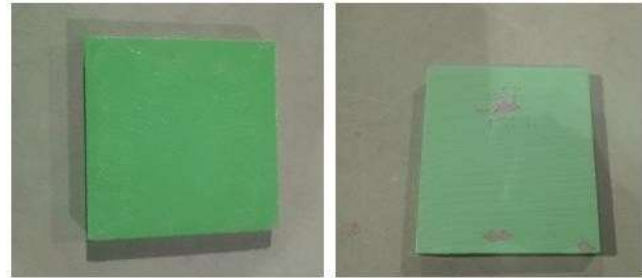


- f. Cat (*Coating*)  
Cat atau *Coating* yang digunakan dalam penelitian ini ada dua jenis, yaitu *coating* epoxy dan *coating* plastik. Pada penelitian ini jenis cat yang digunakan adalah sebagai berikut ;

**Tabel 3. Spesifikasi cat**

Merek	Warna	Resistance Temperature
- Upox Dana Paint (Epoxy)	Hijau Tua	80-100°C
- Propan Traffikote (Plastik)	Hijau Muda	100-120°C

- e. Beton  
Pada penelitian ini beton yang digunakan adalah beton ketebalan 5mm. Untuk pengujian ini beton dengan ukuran 15cm x 15cm.



**Gambar 7. Material beton**

**4. HASIL PENELITIAN**

Percobaan ini bisa di buktikan dengan perhitungan persamaan radiasi, dan di dapat perhitungan sebagai berikut :

$$I = e \sigma ( T_2^4 - T_1^4 )$$

Keterangan :

I = Energi yang dipancarkan tiap satuan luas dan tiap satuan waktu (Joule /s m<sup>2</sup> atau W/m<sup>2</sup>)

e = coefisen thermal conductivity bahan ( 0 ≤ a ≤ 1)

σ = konstanta stefan boltzman = 5,67 x 10<sup>-8</sup> (W/ m<sup>2</sup>. K)

ΔT = Selisih nilai temperatur (m<sup>2</sup>)

Serta nilai koefisien termal dari beton adalah :

Cadmium	0.02
Carbon, not oxidized	0.61
Carbon filament	0.77
Carbon pressed filled surface	0.98
Cast iron, newly turned	0.44
Cast iron, turned and heated	0.60 - 0.70
Cement	0.54
Chromium polished	0.058
Clay	0.91
Coal	0.80
Concrete	0.94
Concrete, rough	0.94
Concrete tiles	0.63
Cotton cloth	0.77
Copper electroplated	0.03
Copper heated and covered with thick oxide layer	0.78
Copper Polished	0.023 - 0.052
Copper Nickel Alloy, polished	0.059
Glass smooth	0.92 - 0.94
Glass, pyrex	0.85 - 0.95
Gold not polished	0.47
Gold polished	0.025
Granite	0.45

**Gambar 8.** koefisien termal

**4.1 Pengujian Aktual Pelepasan Coating Epoxy**

Pengujian dilakukan dengan menggunakan 3 variable suhu, yaitu 300°C, 500°C, 600°C dan dengan 3 variable jarak kepala induktor yaitu 5 mm, 7 mm, dan 10 mm. Data yang di dapat sebagai berikut :

**Tabel 4.** Hasil pengujian coating epoxy

COATING EPOXY												
Jarak	Temp 1	Suhu beton	Waktu 1	Total	Temp 2	Suhu beton	Waktu 2	Total	Temp 3	Suhu beton	Waktu 3	Total
5 mm	300°	111°	1,4	4,3	500°	201°	1	4,5	600°	181°	5,4	7,2
7 mm	300°	201°	2	8	500°	180°	1,2	5,4	600°	196°	0,46	2,07
10 mm	300°	207°	2,5	11,25	500°	178°	1,2	5,4	600°	190°	1,1	4,95

Keterangan :

Jarak : Jarak permukaan kepala induktor dengan jarak permukaan beton.

Temp 1/2/3 : Temperature pada mesin/kepala induktor.

Suhu beton : Temperature pada beton setelah dipanaskan.

Waktu 1 : Waktu pelepasan coating epoxy dengan suhu 300°C pada beton dengan satuan waktu menit.

Waktu 2 : Waktu pelepasan coating epoxy dengan suhu 500°C pada beton dengan satuan waktu menit.

Waktu 3 : Waktu pelepasan coating epoxy dengan suhu 600°C pada beton dengan satuan waktu menit.

Total t : Total waktu untuk pelepasan coating epoxy terhadap luas objek beton.

Beberapa hasil analisa pelepasan coating epoxy, dengan menggunakan rumus radiasi seperti diatas, maka mendapatkan hasil perbandingan sebagai berikut :

- Pengambilan data pada jarak 5 cm dan suhu 300°C untuk mengelupaskan coating seluas 15 X 15 adalah 378 detik ( 6,3 menit ), maka dicari perhitungan dengan rumus radiasi sebagai berikut :

$$I_{heater} = e \sigma ( T_2^4 - T_1^4 )$$

$$= 0,94 \times 5,67 \times 10^{-8} (W/ m^2. K) \times ( 384^4 K - 303^4 K )$$

$$= 709,63 (W/m^2)$$

$$I_{heater} = I_1 \times 1/5^2$$

$$= 709,63 (W/m^2) \times 1/5^2$$

$$= 28,39 (W/m^2)$$

$$P_{heater} = I_2 \times A_{heater}$$

$$= 28,39 (W/m^2) \times 0,005 m^2$$

$$= 0,14 ( watt )$$

Selanjutnya mencari I<sub>cat</sub>, cat epoxy memiliki tingkat

leleh cat sebesar 100°C dengan asumsi Temperatur awal cat 30°C.

$$I_{cat} = e \sigma (T_2^4 - T_1^4)$$

$$= 0,94 \times 5,67 \times 10^{-8} (W/m^2 \cdot K) \times (374^4 K - 303^4 K)$$

$$= 593,55 (W/m^2)$$

$$P_{cat} = I_{cat} \times A_{Beton}$$

$$= 593,55 (W/m^2) \times 0,0225 m^2$$

$$= 13,35 (watt)$$

Hasil  $P_{cat} > P_{heater}$

$$t = \frac{429}{60} = 7,1 \text{ Menit}$$

- Pengambilan data pada jarak 7 cm dengan suhu 300°C untuk mengelupaskan coating seluas 15 X 15 adalah 540 detik ( 9 menit ), maka dicari perhitungan dengan rumus radiasi sebagai berikut :

$$I_{heater} = e \sigma (T_2^4 - T_1^4)$$

$$= 0,94 \times 5,67 \times 10^{-8} (W/m^2 \cdot K) \times (374^4 K - 303^4 K)$$

$$= 593,55 (W/m^2)$$

$$I_{heater} = I_1 \times 1/7^2$$

$$= 593,55 (W/m^2) \times 1/7^2$$

$$= 11,87 (W/m^2)$$

$$P_{heater} = I_2 \times A_{heater}$$

$$= 11,87 (W/m^2) \times 0,005 m^2$$

$$= 0,06 (watt)$$

Selanjutnya mencari  $I_{cat}$ , cat epoxy memiliki tingkat leleh cat sebesar 100°C dengan asumsi Temperatur awal cat 30°C.

$$I_{cat} = e \sigma (T_2^4 - T_1^4)$$

$$= 0,94 \times 5,67 \times 10^{-8} (W/m^2 \cdot K) \times (374^4 K - 303^4 K)$$

$$= 593,55 (W/m^2)$$

$$P_{cat} = I_{cat} \times A_{Beton}$$

$$= 593,55 (W/m^2) \times 0,0225 m^2$$

$$= 13,35 (watt)$$

Hasil  $P_{cat} > P_{heater}$

$$t = \frac{1001}{60} = 16 \text{ Menit}$$

- Pengambilan data pada jarak 10 cm dengan suhu 300°C untuk mengelupaskan coating seluas 15 X 15 adalah 450 detik ( 7,5 menit ), maka dicari perhitungan dengan rumus radiasi sebagai berikut :

$$I_{heater} = e \sigma (T_2^4 - T_1^4)$$

$$= 0,94 \times 5,67 \times 10^{-8} (W/m^2 \cdot K) \times (380^4 K - 303^4 K)$$

$$= 662,09 (W/m^2)$$

$$I_{heater} = I_1 \times 1/10^2$$

$$= 662,09 (W/m^2) \times 1/10^2$$

$$= 6,62 (W/m^2)$$

$$P_{heater} = I_2 \times A_{heater}$$

$$= 6,62 (W/m^2) \times 0,005 m^2$$

$$= 0,03 (watt)$$

Selanjutnya mencari  $I_{cat}$ , cat epoxy memiliki tingkat leleh cat sebesar 100°C dengan asumsi Temperatur awal cat 30°C.

$$I_{cat} = e \sigma (T_2^4 - T_1^4)$$

$$= 0,94 \times 5,67 \times 10^{-8} (W/m^2 \cdot K) \times (374^4 K - 303^4 K)$$

$$= 593,55 (W/m^2)$$

$$P_{cat} = I_{cat} \times A_{Beton}$$

$$= 593,55 (W/m^2) \times 0,0225 m^2$$

$$= 13,35 (watt)$$

Hasil  $P_{cat} > P_{heater}$

$$t = \frac{2002}{60} = 33 \text{ Menit}$$



Gambar 9. Grafik hasil pengelupasan coating epoxy

**4.2 Pengujian Aktual Pelepasan Coating Plastik**

Pengujian dilakukan dengan menggunakan 3 variable suhu, yaitu 300°C, 500 °C, 600 °C dan dengan 3 variable jarak kepala induktor yaitu 5 mm, 7 mm, dan 10 mm. Data yang di dapat sebagai berikut :

**Tabel 5.** Hasil pengujian *coating* plastik

COATING PLASTIK												
Jarak	Temp 1	Suhu beton	Waktu 1	Total t	Temp 2	Suhu beton	Waktu 2	Total t	Temp 3	Suhu beton	Waktu 3	Total t
5mm	300°	118°	1,4	6,3	500°	153°	1,7	7,65	600°	195°	1	4,5
7mm	300°	120°	1,4	6,3	500°	161°	1,7	7,65	600°	199°	1,4	1,8
10mm	300°	118°	1,4	6,3	500°	173°	1,6	7,2	600°	195°	1,2	5,4

Keterangan :

Jarak : Jarak permukaan kepala induktor dengan jarak permukaan beton.

Temp 1/2/3 : Temperature pada mesin/kepala induktor.

Suhu beton : Temperature pada beton setelah dipanaskan.

Waktu 1 : Waktu pelepasan *coating* plastik dengan suhu 300°C pada beton dengan satuan waktu menit.

Waktu 2 : Waktu pelepasan *coating* plastik dengan suhu 500°C pada beton dengan satuan waktu menit.

Waktu 3 : Waktu pelepasan *coating* plastik dengan suhu 600°C pada beton dengan satuan waktu menit.

Total t : Total waktu untuk pelepasan *coating* plastik terhadap luas objek beton.

Beberapa hasil analisa pelepasan coating plastik, dengan menggunakan rumus radiasi seperti diatas, maka mendapatkan hasil perbandingan sebagai berikut :

- Pengambilan data pada jarak 5 mm dan suhu

500°C untuk mengelupaskan *coating* seluas 15 X 15 adalah 459 detik ( 7,65 menit ), maka dicari perhitungan dengan rumus radiasi sebagai berikut :

$$I_{heater} = e \sigma ( T_2 - T_1 )$$

$$= 0,94 \times 5,67 \times 10^{-8} (W/ m^2 \cdot K) \times ( 426^4 K - 303^4 K )$$

$$= 1306,05 (W/m^2)$$

$$I_{heater} = I_1 \times 1/5^2$$

$$= 1306,05 (W/m^2) \times 1/5^2$$

$$= 52,24 (W/m^2)$$

$$P_{heater} = I_2 \times A_{heater}$$

$$= 52,24 (W/m^2) \times 0,005 m^2$$

$$= 0,26 ( watt )$$

Selanjutnya mencari  $I_{cat}$ , cat plastik memiliki tingkat leleh cat sebesar 105°C dengan asumsi Temperatur awal cat 30°C.

$$I_{cat} = e \sigma ( T_2^4 - T_1^4 )$$

$$= 0,94 \times 5,67 \times 10^{-8} (W/ m^2 \cdot K) \times ( 378^4 K - 303^4 K )$$

$$= 638,88 (W/m^2)$$

$$P_{cat} = I_{cat} \times A_{Beton}$$

$$= 638,88 (W/m^2) \times 0,0225 m^2$$

$$= 14,37 ( watt )$$

$$t = \frac{248,71}{60} = 4,15 \text{ Menit}$$

- Pengambilan data pada jarak 7 mm dan suhu 500°C untuk mengelupaskan *coating* seluas 15 X 15 adalah 459 detik ( 7,65 menit ), maka dicari perhitungan dengan rumus radiasi sebagai berikut :

$$I_{heater} = e \sigma ( T_2 - T_1 )$$

$$= 0,94 \times 5,67 \times 10^{-8} (W/ m^2 \cdot K) \times ( 434^4 K - 303^4 K )$$

$$= 1441,66 (W/m^2)$$

$$I_{heater} = I_1 \times 1/7^2$$

$$= 1441,66 (W/m^2) \times 1/7^2$$

$$= 28,83 (W/m^2)$$

$$P_{heater} = I_2 \times A_{heater}$$

$$= 28,83 (W/m^2) \times 0,005 m^2$$

$$= 0,144 ( watt )$$

Selanjutnya mencari  $I_{cat}$ , cat plastik memiliki tingkat leleh cat sebesar 105°C dengan asumsi Temperatur awal cat 30°C.



$$I_{cat} = e \sigma (T_2^4 - T_1^4)$$

$$= 0,94 \times 5,67 \times 10^{-8} (W/m^2 \cdot K) \times (378^4 K - 303^4 K)$$

$$= 638,88 (W/m^2)$$

$$P_{cat} = I_{cat} \times A_{Beton}$$

$$= 638,88 (W/m^2) \times 0,0225 m^2$$

$$= 14,37 (watt)$$

$$t = \frac{\text{---}}{\text{---}} = 449,06(s) / 60 = 7,48 \text{ Menit}$$

- Pengambilan data pada jarak 10 mm untuk mengelupaskan *coating* seluas 15 X 15 adalah 432 detik ( 7,2 menit ), maka dicari perhitungan dengan rumus radiasi sebagai berikut :

$$I_{heater} = e \sigma (T_2 - T_1)$$

$$= 0,94 \times 5,67 \times 10^{-8} (W/m^2 \cdot K) \times (646^4 K - 303^4 K)$$

$$= 8832,74 (W/m^2)$$

$$I_{heater} = I_1 \times 1/10^2$$

$$= 8832,74 (W/m^2) \times 1/10^2$$

$$= 88,33 (W/m^2)$$

$$P_{heater} = I_2 \times A_{heater}$$

$$= 88,33 (W/m^2) \times 0,005 m^2$$

$$= 0,44 (watt)$$

Selanjutnya mencari  $I_{cat}$ , cat plastik memiliki tingkat leleh cat sebesar 105°C dengan asumsi Temperatur awal cat 30°C.

$$I_{cat} = e \sigma (T_2^4 - T_1^4)$$

$$= 0,94 \times 5,67 \times 10^{-8} (W/m^2 \cdot K) \times (378^4 K - 303^4 K)$$

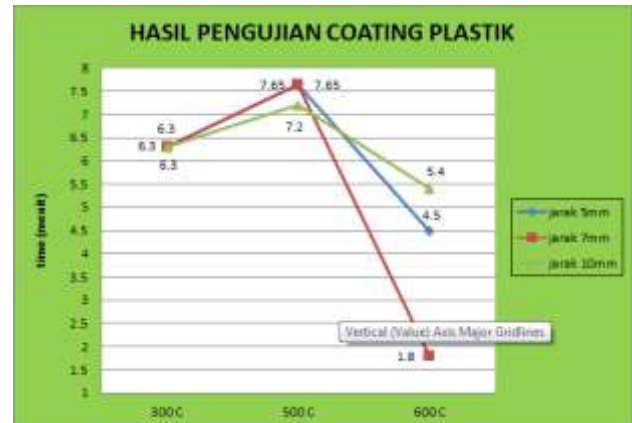
$$= 638,88 (W/m^2)$$

$$P_{cat} = I_{cat} \times A_{Beton}$$

$$= 638,88 (W/m^2) \times 0,0225 m^2$$

$$= 14,37 (watt)$$

$$t = \frac{\text{---}}{\text{---}} = 147(s) / 60 = 2,45 \text{ Menit}$$



Gambar 10. Grafik pelepasan coating plastik

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan, perhitungan dan pengujian alat induksi panas terhadap lapisan cat di atas beton, maka di ambil kesimpulan :

1. Ketepatan waktu pada saat proses mesin bekerja sangat butuh pengawasan.
2. Semakin besar suhu dan semakin dekat jarak maka semakin cepat cat akan terkelupas.
3. Semakin kecil suhu dan semakin jauh jarak maka semakin lama cat akan terkelupas.
4. Cat plastik lebih cepat terkelupas dari pada cat epoxy.

### 5.2 Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut maka penulis memberikan saran agar dapat membantu penelitian selanjutnya :

1. Memodifikasi desain (bentuk) kepala induktor untuk mengelupas cat pada bidang lain selain bidang datar.
2. Mencoba memodifikasi ukuran kepala induktor untuk lebih efisien waktu dalam proses pengelupasan.
3. Mencoba untuk menggunakan elemen pemanas dengan daya lebih besar sehingga intensitas radiasi lebih besar dan temperature pada permukaan benda

dapat lebih tinggi.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya ucapkan kepada Bapak Gian Villany Golwa selaku pembimbing yang telah memberikan banyak arahan, masukan dan dukungan dalam penulisan jurnal ilmiah dan serta semua pihak yang turut memberi dukungan dalam pembuatan jurnal ilmiah ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Arndt, Steve, and Rob Canum. 2007. "Overview of Chemical Paint Strippers. The Ongoing Development of Safer Solvent Paint Removers Has Yielded Versatile, User-Friendly Products." *Metal Finishing* 105(5): 49–50. [http://dx.doi.org/10.1016/S0026-0576\(07\)80552-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0026-0576(07)80552-6).
- Bahadori, Alireza. 2015. "Essentials of Coating, Painting, and Lining for the Oil, Gas and Petrochemical Industries." *Essentials of Coating, Painting, and Lining for the Oil, Gas and Petrochemical Industries*: 1–764.
- Fajar, Anugerah. 2009. "Pengertian Cat, Komponen Penyusun Cat, Jenis-Jenis Cat, Kualitas Cat." *Pengertian Cat, Komponen Penyusun Cat, Jenis-Jenis Cat, Kualitas Cat*.
- Klobu, Luka, and Iztok Tiselj Co-adviser. 2016. "Thermal Radiation Heat Transfer between Surfaces." [http://mafija.fmf.uni-lj.si/seminar/files/2015\\_2016/Thermal\\_radiation\\_heat\\_transfer\\_between\\_surfaces\\_Luka\\_Klobucar.pdf](http://mafija.fmf.uni-lj.si/seminar/files/2015_2016/Thermal_radiation_heat_transfer_between_surfaces_Luka_Klobucar.pdf).
- Koleske, Joseph V. 2006. "Mechanical Properties of Solid Coatings." : 1–15.
- Li, Ming Zheng et al. 2016. "Feasibility Study of a New Approach to Removal of Paint Coatings in Remanufacturing." *Journal of Materials Processing Technology* 234: 102–12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.03.014>.
- Mabrouki, Tarek, and Kadour Raissi. 2002. "Stripping Process Modelling: Interaction between a Moving Waterjet and Coated Target." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 42(11): 1247–58.
- Peng, Shitong, Tao Li, Junli Shi, and Hongchao Zhang. 2015. "Simplified Life Cycle Assessment and Analysis of Remanufacturing Cleaning Technologies." *Procedia CIRP* 29: 810–15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2015.01.030>.
- Rao, Sunil, Sumith Kumar, Manasa Palle, and Pusuluri Sriharsha. 2016. "A CRITICAL REVIEW ON SURFACE COATINGS FOR." (September).
- Teimourian, H., M. R. Shabgard, and A. W. Momber. 2010. "De-Painting with High-Speed Water Jets: Paint Removal Process and Substrate Surface Roughness." *Progress in Organic Coatings* 69(4): 455–62. <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2010.08.010>.
- Voudoukis, Nikolaos, and Sarantos Oikonomidis. 2017. "Inverse Square Law for Light and Radiation: A Unifying Educational Approach." *European Journal of Engineering Research and Science* 2(11): 23. <http://ejers.org/index.php/ejers/article/view/517>.
- Young, Christopher N. et al. 2015. "Physicochemical Investigation of Chemical Paint Removers. II: Role and Mechanism of Phenol in the Removal of Polyurethane Coatings." *Progress in Organic Coatings* 88: 212–19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2015.06.014>.