

ANALISIS KEKUATAN JEPIT PENAMBAT E-CLIP TERHADAP PERILAKU PANAS PADA SAAT PEMASANGAN PADA REL

Warsiti¹⁾, Kusdiyono¹⁾, Risman¹⁾, Hastya Tatas Herarki¹⁾, Muchammad Izzuddin Alif¹⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, 50275
Email: warsiti@polines.ac.id

ABSTRAK

Salah satu jenis penambat elastis adalah penambat elastis tipe e-clip. Penggunaan penambat elastis e-clip sendiri mendapatkan pengesahan dan rekomendasi pemakaian dari Direktur Jenderal Perkeretaapian Kementerian Perhubungan No. KA.405/SK.10/DJKA/II/10. Salah cara untuk menaikkan batas elastik baja dengan cara perlakuan panas atau biasa disebut dengan Heat treatment pada saat pemasangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mengetahui pengaruh variasi suhu pemanasan terhadap kuat jepit penambat dan untuk mengetahui pemanasan suhu optimum untuk mendapatkan kuat jepit yang maksimum. Variasi panas pada penelitian adalah suhu antara 150°C sampai dengan 300°C dengan media pendingin berupa oli SAE 90 lalu dilanjutkan dengan pengujian kuat jepit pada masing-masing penambat elastis yang telah diberi perlakuan panas maupun yang tanpa perlakuan panas. Dari hasil pengujian kuat jepit penambat tanpa perlakuan panas didapatkan kuat jepit akhir sebesar 1742,55 kgf lalu pada perlakuan panas 150°C sebesar 1971,832 kgf, pada 200°C sebesar 1988,454 kgf, pada 250°C sebesar 1631,552 kgf dan pada 300°C sebesar 1325,636 kgf. Suhu optimum yang didapatkan melalui analisis regresi adalah sebesar 155.0469 °C yang akan menghasilkan kuat jepit akhir sebesar 1992,49 kgf.

Kata kunci: Penambat elastis, e-clip, perlakuan panas, kuat jepit penambat.

PENDAHULUAN

Penambat rel merupakan suatu komponen yang menambatkan rel pada bantalan sedemikian sehingga kedudukan rel menjadi kokoh dan kuat. Kedudukan rel dapat bergeser diakibatkan oleh pergerakan dinamis roda kereta yang bergerak di atas rel. Jenis penambat digolongkan berdasarkan karakteristik perkuatan yang dihasilkan dari sistem penambat yang digunakan. Salah satu syarat teknis penambat adalah gaya jepit harus kuat untuk menjamin gaya tahan rel pada bantalan lebih besar daripada gaya tahan rangkai bantalan pada stabilitas dasar balas dan gaya jepit penambat dapat bertahan lama, meskipun alat jepit tidak dapat

dihindarkan dari adanya kelonggaran dan keausan pada pelat andas maupun anker akibat dari menahan getaran yang berterusan.

Pada awalnya penambat yang digunakan untuk menahan rel di atas permukaan bantalan kayu masih menggunakan konstruksi yang dipasang secara langsung dengan menggunakan paku (*dog-spike*), dan untuk mengatasi gaya muai rel, diberikan celah (*gap*) yang cukup dan memakai alat anti creeps yang dipasang di kaki rel untuk panjang rel maksimum 6,8 meter.

Penggunaan penambat elastis pada kereta api Indonesia mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan volume angkutan

penumpang. Menurut laporan tahunan tahun 2014 PT.KAI pertumbuhan volume angkutan penumpang sebesar rata-rata 8% per tahun pada rentang tahun 2010-2014 hal ini menyebabkan frekuensi perjalanan kereta api meningkat yang diikuti dengan bertambahnya beban yang diterima oleh jalan kereta api tersebut. Hal ini didukung dengan Peraturan Dinas No 10 Tahun 1986 dan Peraturan Menteri No 60 Tahun 2010 yang menyebutkan bahwa penggunaan penambat elastis diwajibkan untuk semua kelas jalan dengan lebar sepur 1067 milimeter maupun untuk lebar sepur 1437 milimeter. PT.KAI mewajibkan penggunaan penambat elastis dikarenakan penambat elastis mampu menyerap vibrasi yang semakin tinggi akibat frekuensi perjalanan meningkat pada tiap tahunnya, untuk mengurangi kerusakan pada bantalan beton akibat vibrasi tersebut dan untuk menjaga kenyamanan keamanan perjalanan kereta api. Penambat elastis mempunyai beberapa jenis salah satunya adalah penambat elastis tipe *e-clip*. Penggunaan penambat elastis *e-clip* sendiri mendapatkan pengesahan dan rekomendasi pemakaian dari Direktur Jenderal Perkeretaapian Kementerian Perhubungan No.KA.405/SK.10/DJKA/II/10.

Material penambat elastis tipe *e-clip* adalah *Alloy Spring Steel* atau baja pegas dengan presentase karbon antara 0,56% - 0,64% dan penambat elastis ini mampu menghasilkan perlawanan rangkai (*Creep Resistance*) dan menghasilkan gaya jepit (*Clamping Force*) yang tinggi. Gaya jepit merupakan persyaratan yang sangat penting bagi penambat karena menurut Peraturan Dinas No 10 Tahun 2010 Penambat sendiri berguna untuk menambatkan

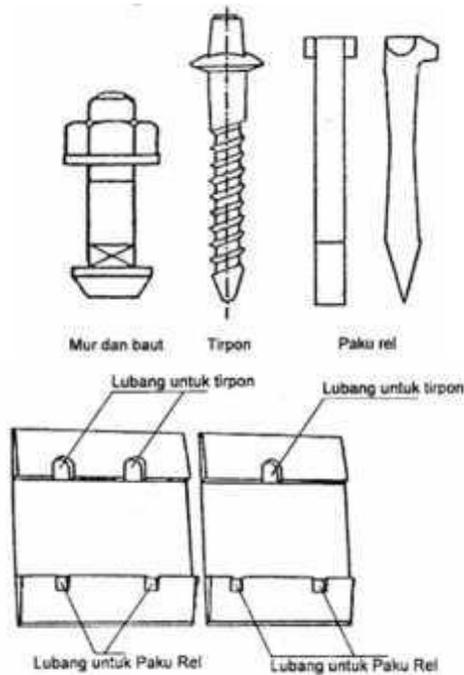
rel pada bantalan sehingga kedudukan rel menjadi tetap, kokoh dan tidak bergeser dari bantalannya. Penambat elastis yang terbuat dari baja ini masih dapat ditingkatkan kuat jepitnya dengan cara menaikkan batas elastik bajanya. Usaha untuk menaikkan batas elastik baja dapat dilakukan dengan cara perlakuan panas atau biasa disebut dengan *Heat treatment*.

Dari latar belakang tersebut penulis akan melakukan penelitian tentang pengaruh perlakuan panas terhadap kuat jepit penambat rel *e-clip* kereta api dengan variasi suhu pemanasan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perlakuan panas terhadap kuat jepit penambat dan mengetahui suhu optimum perlakuan panas untuk menghasilkan kuat jepit penambat yang paling tinggi.

TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Peraturan Dinas No 10 Tahun 1986 penambat rel adalah suatu komponen yang menambatkan rel pada bantalan sedemikian rupa sehingga kedudukan rel adalah tetap, kokoh dan tidak bergeser. Dengan penambat rel ini jarak antara kedua rel akan tetap dengan lebar 1067 milimeter diukur dari bagian dalam kepala rel atau dengan lebar sepur 1437 milimeter. Penambat secara garis besar mempunyai dua jenis penambat yaitu penambat kaku (*rigid fastening*) dan penambat elastis (*elastic fastening*). Penambat kaku terdiri dari beberapa komponen utama yaitu paku rel, tirpon atau mur baut, dan dengan plat landas atau tanpa plat landas yang digunakan pada bantalan kayu dan bisa digunakan pada bantalan baja. Penggunaan penambat kaku di Indonesia sudah mulai ditinggalkan

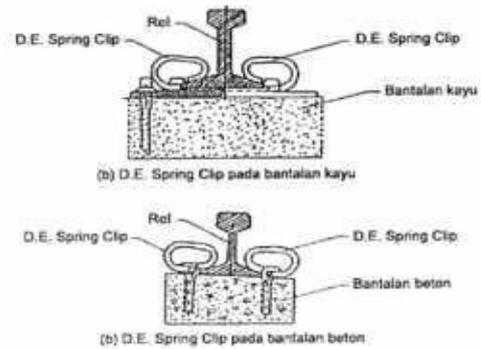
karena penggunaannya tidak sudah sesuai dengan kondisi lalu lintas kereta api saat ini dan pada Peraturan Dinas Nomor 10 Tahun 1986 maupun Peraturan Menteri Nomor 60 Tahun 2012 sudah tidak mengizinkan penggunaan penambat kaku pada semua kelas jalan.



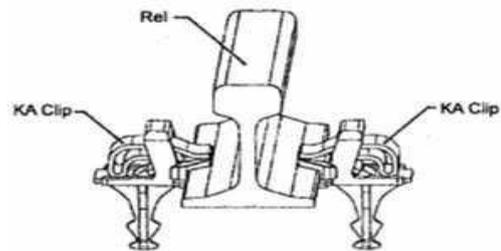
Gambar 1. Mur Baut, Tirpon, Paku rel dan Pelat Landas
(Sumber: Utomo, 2009:84)

Penggunaan penambat elastis di Indonesia merupakan solusi untuk mengurangi kerusakan bantalan kereta api yang disebabkan oleh getaran yang dihasilkan dari frekuensi lalu lintas kereta api yang tinggi karena penambat elastis sendiri mampu meredam vibrasi atau getaran. Menurut Purwanto (2010) selain dapat meredam getaran akibat lalu lintas tinggi penambat elastis mampu memberikan kuat jepit (*clamping force*) yang tinggi dan mampu memberikan perlawanan rangkak (*creep resistance*). Berikut beberapa jenis penambat elastis yang digunakan di Indonesia: 1) Penambat Rel D.E.

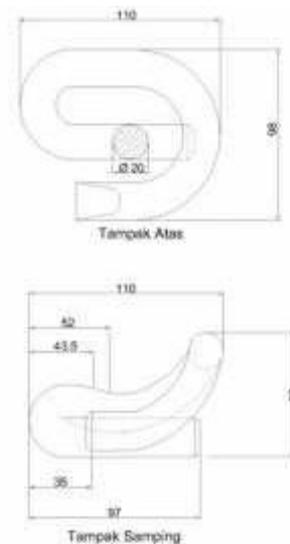
(D.E.Spring Clip), 2) Penambat KA-Clip, 3) Penambat Rel E-clip.



Gambar 2. Penambat Rel D.E
(Sumber : Utomo, 2009:89)



Gambar 3. Penambat KA-Clip
(Sumber: Utomo, 2009:96)



Gambar 4. Penambat Rel E-Clip
(Sumber : Purwanto,2010)

Pengertian perlakuan panas menurut Davis et al (1982:308) perlakuan panas adalah prosedur pemanasan berikut prosedur

pendinginan untuk tujuan meningkatkan sifat-sifat baja tertentu yang diinginkan. Secara umum proses perlakuan panas diklasifikasikan sebagai berikut: 1) *Annealing*. Adalah proses pemanasan baja yang diikuti dengan pendinginan yang lambat didalam tungku. Tujuan utama dari annealing adalah mengurangi kekerasan dari baja. 2) *Hardening*. Adalah proses pemanasan baja yang diikuti dengan pendinginan yang cepat dengan media pendingin seperti air, oli, dan *brine*. Tujuan dari pendinginan cepat menurut Adawiyah et al (2014) adalah untuk mendapatkan struktur martensit yang bersifat getas dan keras yang terbentuk akibat dari pendinginan secara cepat. 3) *Tempering*. Adalah proses pemanasan baja kembali. Tujuan utama dari tempering adalah meningkatkan daktilitas baja yang menurun akibat dari hardening. Menurut Alexander (1990:111) Proses temper pada pemanasan suhu tertentu dan didinginkan secara lambat, pemanasan dilakukan sampai temperatur yang diperlukan biasanya antara 200°C sampai dengan 600°C tergantung pada keperluan, semakin tinggi temperatur pemanasan, semakin besar penurunan kekerasan sedangkan kekenyalan bertambah.

Penelitian sebelumnya yang terkait dengan penambat elastis dan perlakuan panas adalah Purwanto (2010) dalam jurnal ilmiahnya yang berjudul “Kajian Kekuatan Penambat Rel Elastis *e-Clip*” melakukan kajian atau penelitian tentang kekuatan penambat rel elastis tipe *e-clip* yang didapatkan melalui serangkaian uji yang sesuai standar AREMA atau *American Railway Engineering and Maintenance – of - way Association*. Penelitian tentang penambat rel kereta api juga dilakukan oleh Sadeghi

et al (2015) yang meneliti pengaruh kecepatan kereta api dan beban gandar terhadap *life cycle* penambat rel kereta api yang diukur dengan parameter deformasi penambat rel.

Penelitian tentang perlakuan panas sebelumnya telah dilakukan seperti Haryadi (2005) yang melakukan penelitian tentang pengaruh suhu tempering terhadap kekerasan dan kuat tarik dari baja K-460 yang menyatakan bahwa semakin meningkatnya suhu tempering akan menurunkan nilai kekerasan dan kekuatan tarik maksimum dari baja. HTUN et al (2008) yang melakukan penelitian tentang pengaruh perlakuan panas terhadap sifat mekanik baja pegas yang menyatakan bahwa semakin lama waktu tempering dan semakin tinggi temperatur tempering maka akan menurunkan nilai kekerasan dan kuat tarik maksimum dari baja tersebut. Setyorini dkk (2013) yang meneliti tentang pengaruh media pendingin pada proses hardening Baja Mangan Hadfield menyatakan bahwa media pendingin berupa air yang menunjukkan nilai kekerasan paling tinggi dibandingkan media pendingin lainnya berupa oli, PVA (*polyvinylalcohol*) 10% dan PVA 15%.

Penelitian tentang pengaruh perlakuan panas terhadap kuat jepit penambat rel *e-clip* kereta api belum dilakukan.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Bahan Bangunan Politeknik Negeri Semarang Kecamatan Tembalang, Kota Semarang.

Desain Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif dengan statistik deskriptif. Metode kuantitatif yang digunakan adalah metode eksperimen.

Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini dijabarkan sebagai berikut : Kuat Jepit dari Penambat Rel tipe *e-clip* merek pandrol kereta api, Variasi suhu pemanasan dalam penelitian ini dengan range antara 150°C sampai dengan 300°C, dan Pengaruh variasi suhu pemanasan perlakuan panas terhadap kuat jepit penambat rel tipe *e-clip* merek pandrol.

Variabel Penelitian

Variabel pada penelitian ini dibagi menjadi dua yaitu variabel tak bebas / terikat atau *dependent variables* yang berupa kuat jepit penambat rel kereta api yang mempunyai satuan kilogram-force (kgf) dan variabel bebas atau *independent variables* yang berupa suhu pemanasan penambat rel kereta api yang mempunyai satuan derajat celsius (°C) dan deformasi penambat rel kereta api.

Data Penelitian

Pada penelitian ini data yang dikumpulkan adalah data kuat jepit dari penambat rel kereta api tanpa perlakuan panas maupun kuat jepit dari penambat dengan perlakuan panas dari suhu 150°C sampai dengan suhu 300°C.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan pada penelitian ini dapat dibagi menjadi dua yaitu alat dan bahan perlakuan panas beserta alat dan bahan pengujian

kuat jepit. Alat dan bahan untuk perlakuan panas terdiri dari: 1) Kompor Gas. 2) Termometer Digital. 3) Penambat Rel kereta api tipe *e-clip*. 4) Oli, 5) Alat bantu (ember dan penjepit).

Alat dan Bahan untuk pengujian kuat jepit terdiri dari: 1) Alat Kuat Jepit Polines. 2) *Hydraulic Jack*. 3) Bantalan rel kereta api d. Dial penurunan. 4) Alat Bantu.

Prosedur Perlakuan Panas

Prosedur perlakuan panas dapat dijelaskan sebagai berikut: 1) Siapkan benda uji dan alat untuk perlakuan panas antara lain kompor gas dilengkapi dengan dudukan, penambat rel kereta api, termometer, oli, dan alat bantu lainnya. 2) Nyalakan kompor gas lalu letakan benda uji berupa penambat diatas kompor gas untuk dilakukan pemanasan, bolak-balik benda uji saat pemanasan agar panas merata ke seluruh benda uji. 3) Cek suhu benda uji dengan menggunakan termometer secara berkala setiap 1 menit dengan minimal tiga titik pengukuran suhu pada benda uji dan catat suhunya. 4) Ketika benda uji sudah mencapai suhu rata-rata yang diinginkan, benda uji seketika dicelupkan kedalam ember yang sudah berisi media pendingin berupa oli SAE 90. 5) Lakukan langkah tiga dan empat untuk suhu rata-rata yang lainnya lalu celupkan pada media pendingin berupa oli SAE 90. 6) Tunggu benda uji sampai suhu normal lalu bersihkan benda uji dari sisa oli yang menempel

Prosedur Pengujian Kuat Jepit

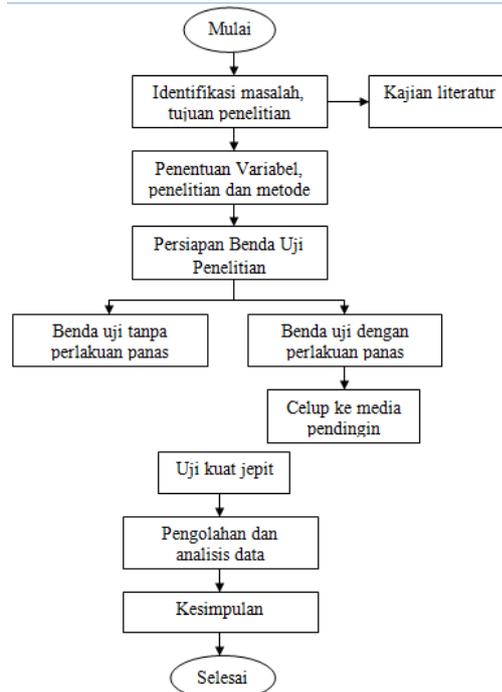
Prosedur pengujian kuat jepit dapat dijelaskan sebagai berikut: 1) Siapkan benda uji dan alat pengujian

jepit antara lain alat kuat jepit, *hydraulic jack*, dial penurunan, bantalan rel kereta api, dan penambat yang sudah dipanaskan dan dicelupkan ke dalam oli. 2) Pasang alat kuat jepit diatas bantalan rel kereta api yang sebelumnya sudah diberikan dukungan agar pemasangan alat kuat jepit lebih mudah. 3) Pasang penambat rel kereta api pada shoulder bantalan beton dan potongan rel kereta api. 4) Pasang *hydraulic jack* pada alat kuat jepit pastikan piston tegak lurus terhadap bidang angkatnya. 5) Pasang dial penurunan tepat diatas potongan rel pada alat kuat jepit pastikan sebelum melakukan pengujian dial pada posisi nol Setelah semua siap lalu gunakan *hydraulic jack* dengan laju pembebanan sebesar 22 kN/menit. Lakukan pembebanan hingga deformasi penambat menunjukkan angka sebesar 2 mm. 6) Catat deformasi penambat setiap 0,5 mm beserta gaya yang terjadi.

Teknik Pengolahan Data

Pada penelitian ini teknik pengolahan data menggunakan: Metode statistik deskriptif, Analisis korelasi dua variabel, dan Analisis regresi dua variabel untuk mencari suhu optimum pemanasan.

Untuk alur penelitian dapat dilihat pada gambar 5 berikut ini:



Gambar 5. Diagram alur penelitian

ANALISIS DAN PEMBAHASAN DATA

Hasil Pengujian

Hasil Pengujian Kuat jepit yang dipengaruhi perlakuan panas ditampilkan dengan tabel kuat jepit yang dilengkapi dengan deformasi yang terjadi dengan kuat jepit akhir ditentukan ketika terjadi deformasi sebesar 2 milimeter dengan asumsi bahwa penambat telah terlepas dari *rubber pad* sebagai pembanding dengan suhu pemanasan yang lain. Berikut dibawah ini hasil dari kuat jepit penambat rel kereta api dengan berbagai perlakuan panas.

Tabel 1.
Hasil Kuat Jepit Penambat Rel Kereta Api dengan berbagai Perlakuan Panas

Deformasi (mm)	Kuat Jepit (kgf)				
	Tanpa Perlakuan Panas	Perlakuan Panas 150°C	Perlakuan Panas 200°C	Perlakuan Panas Suhu	Perlakuan Panas Suhu
	Panas			Suhu	Suhu
0	0	0	0	0	0
0,5	1559,123	1650,836	325,636	1223,664	1121,692
1	1650,836	1834,263	1631,552	1376,622	1172,678
1,5	1696,693	1880,119	1835,496	1529,580	1223,664
2	1742,550	1971,832	1988,454	1631,552	1325,636

Berdasarkan tabel hasil data kuat jepit penambat rel kereta api untuk benda uji tanpa perlakuan panas mempunyai kuat jepit akhir dengan deformasi 2 milimeter (mm) sebesar 1742,550 kilogram-force (kgf). Hasil kuat jepit tanpa perlakuan panas ini sebagai tolok ukur atau sebagai pembandingan antara kuat jepit tanpa perlakuan panas dengan kuat jepit yang diberikan perlakuan panas dengan variasi suhu 150°C, 200°C, 250°C, dan 300°C untuk mencari selisih kuat jepit yang terjadi.

Hasil penelitian besar kuat jepit dengan berbagai Perlakuan Panas yang terjadi meningkat pada pemanasan 0 - 200°C dan mengalami penurunan pada suhu lebih dari 200°C. Besar kuat jepit maksimum penambat rel kereta api dengan 200°C sebesar 1988,454 sehingga mengalami kenaikan dibandingkan dengan kuat jepit akhir dari penambat rel kereta api yang tidak mengalami perlakuan panas. Selisih kenaikan kuat jepit antara kuat jepit tanpa perlakuan panas dengan kuat jepit dengan perlakuan panas suhu 200°C sebesar 245,904 kgf atau jika diprosentasekan sebesar 14,11%. Dari kelima tabel 1. penelitian dapat dikatakan kuat jepit maksimum diperoleh jika dilakukan perlakuan pemanasan 200°C.

Presentase Kuat Jepit dibandingkan dengan Kuat Jepit Tanpa Pemanasan dapat dilihat dalam tabel 2. di bawah ini.

Tabel 2.
Selisih Kuat jepit dengan pemanasan dengan tanpa perlakuan panas

Suhu Pemanasan (°C)	Kuat Jepit Akhir (Kgf)	Selisih dengan Kuat Jepit Tanpa Pemanasan (%)
1	1971,832	13,155
2	1988,454	14,108
2	1631,552	-6,375
3	1325,636	-23,928

Pada tabel 2. menunjukkan bahwa pada suhu pemanasan 200°C memiliki selisih kuat jepit akhir paling besar dibandingkan dengan suhu pemanasan yang lain yang berarti bahwa pada suhu 200°C.

Tabel 3.
Nilai F di Semua Jenis Perlakuan Pada Penambat Rel Kereta Api

Suhu	F	Persamaan
Tanpa Perlakuan	8,197	$y = 3,195x - 2,359x^2 + 0,508$
150°C	10,084	$y = 3,434x - 2,472x^2 + 0,506$
200°C	23,341	$y = 4,503x - 2,860x^2 + 0,508$
250°C	13,392	$y = 3,625x - 2,428x^2 + 0,508$
300°C	7,501	$y = 2,902x^2 - 2,055x^3 + 0,508$

Dari tabel 3. dapat disimpulkan bahwa pada perlakuan panas dengan suhu 200°C menghasilkan nilai F yang paling besar dibandingkan nilai F pada jenis perlakuan yang lainnya dengan nilai F sebesar 23,341 dengan artian bahwa pada perlakuan panas dengan suhu 200°C mempunyai beda nyata yang paling besar dibandingkan dengan yang lain.

Dari hasil pengujian deformasi sebesar 2 mm dengan kuat jepit dari berbagai perlakuan panas dibuat grafik untuk memperoleh kuat jepit maksimum pada perlakuan panas yang optimum.

Analisis Korelasi

Analisis korelasi menurut Widarjono (2015:243) merupakan suatu analisis kekuatan hubungan (*Strength of the relationship*) atau kovarian (*Covariance*) antar dua variabel yang diukur dengan koefisien korelasi. koefisien korelasi mempunyai interval $-1 \leq r \leq 1$ dengan penjelasan jika koefisien korelasi semakin mendekati nilai -1 atau 1 berarti hubungan antara variable terikat dan variabel bebas semakin kuat. Berikut dibawah ini tabel 2 korelasi kuat jepit dan suhu pemanasan.

Tabel 4.
Nilai Korelasi Kuat Jepit akhir dan Variasi Suhu Pemanasan

Correlations			
		SUHU	KUAT_JEPIT
SUHU	Pearson Correlation	1	-.939
	Sig. (2-tailed)		.061
	N	4	4
KUAT_JEPIT	Pearson Correlation	-.939	1
	Sig. (2-tailed)	.061	
	N	4	4

Berdasarkan tabel 4. koefisien korelasi antara kuat jepit akhir penambat dan variasi suhu pemanasan yang terjadi sebesar - 0,939 yang mempunyai arti bahwa tingkat hubungan antara kuat jepit akhir penambat dan suhu pemanasan sangat tinggi yang ditunjukkan dalam tabel 5 tingkat korelasi dan koefisien korelasi menunjukkan nilai minus (-) yang berarti bahwa ketika suhu pemanasan sebagai variabel bebas dinaikan akan menurunkan kuat jepit akhir dari penambat rel kereta api sebagai variabel terikatnya.

Tabel 5.
Tingkat Korelasi

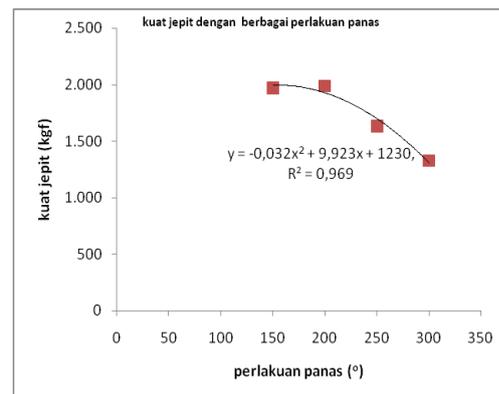
Koefisien Korelasi	Tingkat Korelasi
0,000 - 0,199	Sangat Rendah
0,200 - 0,399	Rendah
0,400 - 0,599	Sedang
0,600 - 0,799	Tinggi
0,800 - 1,000	Sangat Tinggi

Tabel 5. selain menunjukkan nilai korelasi tabel diatas juga menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,061 atau sebesar 6,1% yang mempunyai arti bahwa tingkat kesalahan yang dilakukan peneliti adalah sebesar 6,1% sehingga tingkat kepercayaan sebesar 93,9%.

Analisis Regresi

Analisa regresi pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persamaan regresi yang digunakan untuk mencari suhu optimum pemanasan. Analisa regresi pada

penelitian ini menggunakan alat bantu berupa *software* Microsoft Excel 2010 untuk mengetahui persamaan regresi yang terjadi dan berapa besar koefisien determinasi (R²). Menurut Widarjono (2015:266) koefisien determinasi untuk mengukur kebaikan garis regresi dengan nilai koefisien determinasi terletak antara 0 sampai dengan 1. Nilai koefisien determinasi yang semakin mendekati 1 mempunyai arti bahwa garis regresi mampu menjelaskan data aktualnya misalnya jika nilai R² = 0,99 artinya bahwa garis regresi menjelaskan sebesar 99% nilai aktualnya sedangkan sisanya 1% dijelaskan oleh variabel residual yaitu variable yang berada di luar model yang tidak dimasukan dalam model.



Grafik 1. Kuat jepit dengan berbagai perlakuan panas

Berdasarkan grafik diperoleh persamaan $y = -0.032x^2 + 9.923x + 1230$. $R^2 = 0.969$.

Y = kuat jepit, X = perlakuan panas.

Untuk menentukan nilai maksimum dari persamaan tersebut dengan menggunakan turunan pertama dari persamaan regresi tersebut. Nilai maksimum dari persamaan $y = f(x)$ diperoleh pada turunan pertama ketika $f'(x) = 0$. Didapatkan nilai x maksimum sebesar

155.0469 dan nilai y sebesar 1992.49 sehingga dapat diartikan bahwa ketika benda uji mengalami perlakuan panas dengan suhu 155.0469 °C akan menghasilkan kuat jepit sebesar 1992.49 kgf. Berdasarkan analisis regresi selain mendapatkan persamaan juga didapat koefisien determinasi (R²) dengan nilai sebesar 0,969. Nilai R² merupakan nilai determinasi yang menunjukkan bahwa model persamaan regresi tersebut merupakan model yang tepat karena nilai determinasi semakin mendekati nilai 1 maka model itu semakin tepat.

SIMPULAN

Berdasarkan pengujian kuat jepit penambat rel kereta api yang diberikan variasi suhu pemanasan pada perlakuan panas sebesar 150°C, 200°C, 250°C, dan 300°C dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Ada pengaruh perlakuan panas terhadap kuat jepit penambat rel kereta api tipe e-clip dengan koefisien korelasinya sebesar -0,939 yang diartikan bahwa perlakuan panas sangat berpengaruh terhadap kuat jepit penambat.
2. Besarnya suhu optimum pemanasan pada perlakuan panas untuk menghasilkan kuat jepit paling maksimum berdasarkan analisis regresi dari data kuat jepit penambat rel kereta api yang mempunyai persamaan $y = -0.032x^2 + 9.923x + 1230$ yaitu berada pada suhu 155.0469 °C yang menghasilkan kuat jepit sebesar 1992.49 kilogram-force (kgf).

DAFTAR PUSTAKA

Adawiyah, R., Murdjani, Hendrawan, A. 2014. *Pengaruh Perbedaan*

Media Pendingin Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Pegas Daun Dalam Proses Hardening. Jurnal POROS TEKNIK. Volume 6, Nomor 2, Banjarmasin.

Alexander dkk, Sriatie Djaprie. 1990. *Dasar Metalurgi untuk Rekasayawan.* Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.

Davis, Harmer E., Troxell, George E. and Hauck, George F.W. 1982. *The Testing of Engineering Materials.* New York : McGraw Hill.

Haryadi, Gunawan Dwi. 2005. *Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik Pada Baja K-460.* ROTASI. Volume 7, Nomor 3, Semarang.

Peraturan Dinas. Nomor 10 Tahun 1986 tentang *Perencanaan Konstruksi Jalan Rel*

Peraturan Dinas No 10 Tahun 2010 tentang *Perencanaan Konstruksi Jalan Rel*

Peraturan Menteri Perhubungan. Nomor 60 Tahun 2012 tentang *Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api.*

Purwanto, Dwi. 2010. *Kajian kekuatan Penambat Rel Elastis e-Clip. Majalah Ilmiah Material, Komponen dan Konstruksi.* Volume 10, Nomor 2, Banten: B2TKS – BPPT.