



Pengaruh Kekerasan Material *Polimer Silicon Rubber* Paduan *Resin Epoxy* Dengan Metode Regresi Aplikasi Bahan *Lift Seal Bucket Excavator*

Afrizal^{a,*}, Eko Martono^a, Suaip^b

^a Program Studi Teknik Mesin, STITEKNAS Jambi, Jl. Lintas Sumatra, Mendalo Darat, Kota Jambi, Jambi 36361

^b Program Studi Teknik Mesin, STITEKNAS Jambi, Jl. Lintas Sumatra, Mendalo Darat, Kota Jambi, Jambi 36361

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima 14 September 2024

Diterima revisi 20 Desember 2024

Disetujui 20 Desember 2024

Kata kunci:

Silicon Rubber

Epoxy

Kekerasan

Regresi

Lift Seal

Abstract- Excavator *seal* material but still has shortcomings in use often experiences wear and breakage when the excavator is in use, for that it is necessary to study other natural rubber polymer materials in order to obtain better mechanical properties than the previously studied nitrile rubber material has a hardness value of 75.7 shore. Silicon rubber polymer mixed with epoxy resin is expected to obtain better mechanical hardness properties than the previous material or at least get the same mechanical properties can be used as an alternative. The best hardness value as an excavator bucket *Lift seal* material is in composition 3 with a mixture ratio of 75% PSR; 20% RE; 5% H with a hardness value of 38 kgf / mm². Based on the hypothesis analysis above, there is no significant effect between Silicon Rubber Polymer and Epoxy resin on the results of the hardness test strength test. So silicon rubber polymer and epoxy resin both have an effect on the excavator bucket *seal* product material. The process of making *Lift seal* materials according to the selection standards for *seal* and O-ring product materials set by Engineered *Seal* Products (ESP) for silicon rubber materials, namely 20 - 80 kgf / mm². Composition of 3 mixture ratios 75% PSR; 20% RE; 5% H hardness value 38 kgf/mm² Nominated for ESP *seal* material selection standards.

Intisari- Bahan *seal* excavator tetapi masih terdapat kekurangan dalam pemakaian sering mengalami keausan dan pecah ketika excavator dalam penggunaan, untuk itulah perlu diteliti material polimer natural rubber lainnya agar mendapatkan sifat mekanik yang lebih baik dari material nitrile rubber yang di teliti sebelumnya memiliki nilai kekerasan 75,7 shore. Polimer silicon rubber di campur dengan resin epoxy di harapkan mendapatkan sifat mekanik kekerasan yang lebih baik dari material sebelumnya atau minimal mendapatkan sifat mekanik yang sama bisa di gunakan sebagai alternative. Nilai kekerasan yang paling baik sebagai bahan *Lift seal* bucket excavator ada pada komposisi 3 dengan perbandingan campuran 75%PSR;20%RE;5% H dengan nilai kekerasan 38 kgf/mm². Berdasarkan Analisis hipotesa diatas tidak ada pengaruh yang signifikan antara Polimer Silicon Rubber dan resin Epoxy terhadap hasil pengujian kekuatan uji kekerasan. Jadi polimer silicon rubber dan resin epoxy sama-sama berpengaruh dalam bahan produk *seal* bucket excavator. Proses pembuatan bahan *Lift seal* sesuai standar seleksi bahan produk *seal* dan O-ring yang ditetapkan oleh **Engineered Seal Products (ESP)** untuk material silicon rubber yaitu 20 – 80 kgf/mm². Komposisi 3 perbandingan campuran 75%PSR;20%RE;5% H nilai kekerasan 38 kgf/mm² Masuk nominasi standar seleksi bahan *seal* ESP.

* Corresponding Author:

E-mail: Afrizal111078@gmail.com (Afrizal)

1. Pendahuluan

Alat berat memiliki peranan penting dalam membantu keterbatasan manusia dalam melakukan pekerjaan. Excavator merupakan alat berat yang menggunakan sistem hidrolik sebagai penggerak utama dimana sistem ini menggerakkan berbagai komponen utama seperti bucket, arm, dan boom sehingga excavator dapat melakukan pekerjaan [1]. Salah satu jenis alat berat yang banyak digunakan dalam kegiatan ini adalah excavator. Alat berat yang lebih dikenal dengan nama backhoe ini lebih dikenal sebagai mesin penggali yang biasanya digunakan untuk mengeruk bahan tambang, misalnya batu bara [2]. Excavator memiliki berbagai komponen penting yang mendukung kelancaran operasionalnya, sehingga apabila komponen tersebut mengalami kerusakan maka suatu pekerjaan yang dilakukan tidak akan siap tepat waktu, Industri yang bergerak dibidang pengolahan kayu, pertambangan, pembukaan lahan, perkebunan sawit, pertambangan dan proyek pembuatan jalan dimana sebagian besar dikerjakan dengan menggunakan alat berat. Kebutuhan alat berat khususnya juga semakin meningkat [3]. Perusahaan yang bergerak berusaha untuk dapat memenuhi segala macam kebutuhan pada proyek-proyek tersebut. Salah satu alat berat yang sering digunakan didalam proyek adalah excavator, seperti yang diketahui excavator berperan penting dalam pekerjaan seperti menggali, meratakan tebing, mengangkat barang, dan lainnya [4]. Excavator itu sendiri terdiri dari beberapa komponen utama seperti *engine, pump, controll valve, final drive, swing, center joint, boom, arm dan bucket*. Bagian dari Excavator yang sering mengalami kerusakan pada lift *seal* batang hidrolik excavator [5]. Hidrolik selinder *bucket excavator* merupakan alat yang bekerja untuk menaikkan dan menurunkan bucket, pada selinder bucket terdapat berbagai komponen pendukung untuk melakukan kerja backhoe. *Lift seal* batang hidrolik bucket excavator terbuat dari bahan karet alam (*natural rubber*) sebagai bahan polimer terbarukan menunjukkan sifat-sifat fisik yang baik dan secara meluas digunakan dalam industri [6]. Adapun kelebihan yang dimiliki natural rubber dibanding karet sintesis adalah daya lenting yang baik, ketahanan aus tinggi, tidak mudah panas, daya tahan tinggi terhadap retakan, lebih kuat dan tahan terhadap benturan [7]. Berdasarkan kelebihan material natural rubber sebagai bahan *seal* excavator tetapi masih terdapat kekurangan dalam pemakaian sering mengalami keausan dan pecah ketika excavator dalam penggunaan, untuk itulah penulis ingin meneliti material polimer natural rubber lainnya agar mendapatkan sifat mekanik yang lebih baik dari material nitrile rubber yang di teliti oleh Kiss Yoga 2022 sebelumnya memiliki nilai kekerasan 75,7 shore [8]. Penulis mencoba membandingkan dengan diambilnya material polimer silicon rubber lainnya di harapkan mendapatkan sifat mekanik kekerasan yang lebih baik dari material sebelumnya atau minimal mendapatkan sifat mekanik yang sama bisa di gunakan sebagai alternative.

1.1. Bahan Polimer dan Rubber

Bahan Polimer terdiri dari beberapa jenis :

- a. Plastik Fenolik
Plastik Fenolik adalah bahan polimer sintetik pertama yang diperkenalkan ke industri. Resin fenol-formaldehida diawetkan dengan katalis asam yang mengubah cairan menjadi plastik termoset yang dapat diinfus dan sangat terikat silang. Kekerasannya, Rockwell R 110, adalah salah satu yang tertinggi yang ditemukan di semua plastik [9].
- b. Plastik Furane
Plastik furane memiliki ketahanan alkali yang baik. Untuk meningkatkan sifat, plastik umumnya diperkuat dengan asbes, karbon, tepung kayu, mika, kertas, silika, kain katun, atau serat kaca. Plastik yang diawetkan memiliki kekakuan dan kekuatan yang baik. Nilai tarik bervariasi dari 4,000-10,000 psi dan kuat tekan dari 10,000-15,000 psi. Kekerasannya adalah Rockwell R 110 yang relatif tinggi untuk plastik.

Kekuatan benturannya rendah sekitar 0,5 kaki -lb/inchi. Bahan yang diperkuat kuat dan tahan terhadap pukulan dan guncangan sedang [10].

- c. Plastik Poliester
Poliester adalah produk kondensasi dari asam basa dan alkohol polihidrat. Laminasi kaca poliester dicirikan oleh bobotnya yang ringan, yaitu 1/3 hingga 1/4 dari baja karbon. Berat jenis berkisar dari 1,3 hingga 2,1 tergantung pada jumlah dan bentuk tulangan. Stabilitas dimensinya bagus. Koefisien ekspansi termal relatif rendah, dan aliran dingin tidak ada. poliester yang diperkuat lebih kuat dari kayu dan mendekati kekuatan baja karbon lunak. Untuk plastik, kekuatan tariknya tinggi, berkisar antara 7.000-60.000 psi; 15.000 psi adalah umum. Berat-tostrengthratio sangat tinggi. Kekuatan lentur adalah 20.000 - 60.000 psi.
- d. Plastik Epoksi
Plastik termoset diproduksi mereaksikan epiklorohidrin bisfenolreaktan menghasilkan resin viskositas *epoxy thermosetting* yang memiliki kekuatan tarik tertinggi dari semua plastik bertulang. Laminasi dengan nilai tarik 12.000 psi, kuat tekan 27.000 psi dan kekerasan Rockwell M 95 cukup umum [11].

1.2. Bahan Rubbers

- a. *Natural Rubber* (NR)
Natural Rubber atau Karet alam yang berasal dari getah yang dikumpulkan dari pohon karet di Ceylon, Malaya, Kalimantan, Sumatra, dan Brasil. Dalam keadaan ini, karet memiliki kekuatan tarik 3000 psi, perpanjangan 800 persen, dan elastisitas yang besar. Sinar matahari dan sinar ultraviolet menyebabkan hilangnya kekuatan tarik. Ketahanan terhadap keausan dan abrasi rendah. Penambahan pengisi penguat seperti karbon hitam sangat mengubah sifat karet alam. Kekuatan tarik 4500 psi dan perpanjangan 600 persen dan kekerasan Shore A bervariasi dari 20 -100 dan tergantung pada jumlah pengisi penguat. Ketahanan terhadap sobek dan potong sangat baik dan lebih unggul dari kebanyakan karet sintesis. Fleksibilitas dipertahankan hingga - 60°F. Temperatur servis yang aman untuk aplikasi berkelanjutan adalah 175°F [8, 12].
- b. *Neoprene Rubber* (CR)
Neoprene Rubber adalah karet kimia pertama yang diproduksi di negara ini dalam skala komersial. Sejak tahun 1931, telah banyak digunakan oleh industri. Sebutan pemerintah lama GR-M telah diubah menjadi CR. Ketahanan sobek baik dan ketahanan abrasi sangat baik. Stok CR majemuk cocok untuk aplikasi pada suhu serendah - 60 °F. Mereka juga memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap suhu tinggi dalam kisaran 180 – 250 °F. Neoprene terkenal karena ketahanannya terhadap kerusakan oleh sinar matahari, sinar ultraviolet, ozon, dan oksidasi. Setelah terpapar 100-150 ppm ozon selama 3 jam, tidak menunjukkan tanda-tanda retak atau rusak [8, 13].
- c. *Styrene Rubber* (SBR)
Styrene Rubber (SBR) adalah kopolimer butadiena dan stirena. Meningkatkan kandungan styrene kekuatan tarik, kekerasan, dan sifat lentur, meningkatkan ketahanan abrasi, dan memastikan sifat listrik yang baik dan penyerapan air yang rendah. Ada banyak kopolimer SBR di pasaran; mereka dapat diklasifikasikan sebagai tipe panas, dan tipe diperpanjang minyak dingin [8, 14].
- d. *Nitrile Rubber* (NBR)
Nitrile Rubber memiliki nilai tarik setinggi 2500 psi mencampur dengan resin fenolik, nilai hingga 5000 psi dapat dicapai. Perpanjangan dan kekerasan tergantung pada pencampuran, dan bervariasi dari pemanjangan 400-650 persen dan kekerasan Shore A 40 - 90. Karet nitril memiliki karakteristik set yang baik bersama dengan ketahanan terhadap aliran dingin. Ketahanan sobek hanya adil sedangkan ketahanan abrasinya bagus. Karet dapat digunakan sebentar-sebentar menggabungkan untuk alam pada 300 °F memberikan karet dan terus menerus baik tetapi plasticizer fleksibilitas khusus pada 250 °F [8, 15].
- e. *Bahan Seal Nitrile*
Rubber karet nitril adalah karet hitam yang mampu nitril harus digunakan divulkanisir sebagai pengisi dengan untuk mencapai kandungan lonitril yang baik, sifat-sifat di vulkanisir dapat diubah. elastomer. Dengan peracikan nilai tarik setinggi 2500 psi yang

diperoleh dengan mencampur bahan resin fenolik dengan nilai hingga 5000 psi. Perpanjangan dan kekerasan tergantung pada peracikan dan pencampuran, dan bervariasi dari pemanjangan 400 - 650 persen dan kekerasan Shore A 40 - 90 [16].

1.3. Lift Seal Excavator Hitachi Zx 110

O-ring dan *Seal O-ring*. *Seal* berfungsi sebagai media yang mengalami kontak langsung dengan dinding silinder. *O-ring* dan *Seal* merupakan perantara antara dinding silinder dengan piston hidrolik

- a. *Lipt Seal*. *Lift Seal* (oli *seal*) terlihat pada Gambar 1 digunakan sebagai penyekat atau perapatan (*sealing*) berdasarkan perbedaan ukuran antara oli *seal* dengan diameter batang piston.



Gambar 1. Lift Seal [8]

- b. *O-Ring*. *O-Ring* adalah bentuk cincin yang sangat lunak yang terbuat dari bahan alami atau karet *synthetic* atau plastik. Dalam pemakaiannya *O-ring* terlihat pada Gambar 2 biasanya dikompres antara dua permukaan sebagai *seal*, *O-ring* sering digunakan sebagai static *seal* yang fungsinya sama dengan gasket.



Gambar 2. O-Ring [8]

- c. *Ring wear*. *Ring wear* terlihat pada Gambar 3 berfungsi untuk memperkecil kebocoran cairan yang melewati bagian piston *Rod* maupun bagian belakang piston *Rod*, dengan cara memperkecil celah antara *casing* dengan *impeller*



Gambar 3 Ring Wear [8]

1.4 Seal Karet Rubber Dan Proses Pembuatan di Industri

Salah satu material yang sangat penting di bidang industri adalah *seal* karet/rubber. *Seal* karet memiliki banyak fungsi dalam keberlangsungan industri. Misalnya menjaga alat industri agar tidak bocor. *Seal* pada *spare part* dari alat konstruksi, otomotif, atau industri lainnya. Bahan umum yang digunakan *seal* karet/rubber, yaitu karet alami dan karet sintesis. Karet sintesis yang umum digunakan seperti neoprene, nitrile, EPDM, silicon, viton, styrene butadiene, butadiene acrylonitrile, ethylene propylene, butyl dan Hypalon. Pembuatannya tergantung jenis cairan yang akan dilewati oleh rubber, sehingga harus menyesuaikan dengan kondisi kerja.

Berikut ini adalah beberapa hal yang dipertimbangkan untuk menentukan bahan baku pada *seal* karet:

- Kondisi atau suhu lingkungan ketika rubber digunakan.
- Tekanan yang ditimbulkan saat proses berjalan.
- Ketahanan dan fungsi pada karet *seal*.
- Jenis bahan baku harus sesuai dengan suasana mesin dan kondisinya ketika rubber dijalankan.

Seal karet/rubber bisa dibuat dengan bahan karet alami atau sintesis. Pemilihan bahannya dilakukan dengan penuh ketelitian dan tidak boleh asal-asalan, karena harus menyesuaikan dengan ketahanan serta penggunaannya. Termasuk mempertimbangkan beberapa faktor seperti tekanan yang akan dilewati oleh *seal*, serta bagaimana kondisi lingkungan di industri tersebut. Pembuatan *seal* juga membutuhkan mesin khusus, dengan mengetahui kesesuaian dari cairan maupun jenis gas yang nantinya akan bersinggungan dengan rubber. Bahan yang digunakan untuk *seal* harus dipastikan bisa bertahan dari gesekan atau zat kimia tertentu. *Seal* karet memiliki fungsi penting untuk mencegah terjadinya kebocoran pada kran air, valve, atau mesin industri lainnya. Ada berbagai macam *seal* karet yang memiliki fungsi berbeda-beda. *Seal* karet dibedakan menjadi beberapa jenis, mulai dari *O-ring*, Gasket, Lip *Seal*, serta Duo Cone *Seal*. Masing-masing memiliki fungsi yang berbeda.

- *O-ring*: Tekstur *seal* ini lunak dan berbentuk menyerupai lingkaran. Biasanya dapat Anda jumpai pada celah tabung gas.
- Gasket: Jenis *seal* yang digunakan pada benda-benda yang tidak bergerak.
- Lift *Seal*: *Seal* ini biasanya digunakan pada alat pengakut berat.
- Duo Cone *Seal*: *Seal* ini berfungsi untuk mencegah terjadinya kebocoran pada oli motor, sehingga umum dijumpai pada motor.

2. Metodologi

2.1. Pengujian Kekerasan dan Alat Uji Durometer

Kekerasan adalah kemampuan suatu material untuk menahan deformasi pada permukaannya. Mengukur kekerasan memiliki sejumlah manfaat dalam membandingkan bahan dan memberikan kontrol kualitas dalam proses manufaktur dan pengerasan. Pengujian kekerasan pada berbagai jenis material: Logam dan Paduan, Keramik, Elastomer, Polimer dan plastic, Film, Batuan dan mineral. Pengujian kekerasan mengukur ketahanan suatu material terhadap deformasi permanen pada permukaannya, dengan menekan material yang lebih keras ke dalamnya. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menekan instrumen keras yang terstandarisasi ke dalam material yang sedang diuji. Instrumen tersebut, yang disebut indentor, ditekan ke dalam sampel untuk jangka waktu tertentu (beberapa detik), dan dengan beban (gaya) tertentu di belakangnya. Ketika indentor ditekan ke dalam material, permukaan material akan berubah bentuk dalam jumlah yang dapat diukur. Deformasi ini kemudian diukur, dan pengukuran tersebut digunakan untuk menetapkan nilai kekerasan material sesuai dengan skala spesifik pengujian [17].

Duromometer terlihat pada Gambar 4, alat yang digunakan mengukur kekerasan suatu bahan, biasanya yang terbuat dari Polimer, Elastomer dan juga Karet.



Gambar 4. Alat Uji Durometer

Durometer dilengkapi jarum dibagian bawah untuk pengukuran kerasnya karet ditandai dengan adanya perlawanan penetrasi jarum kedalam bahan uji dibawah beban pegas kemudian kekuatan penetrasi itu dijabarkan dalam angka yang tertera pada layar LCD Durometer.

Durometer memiliki dua skala yaitu : skala A dan skala D. Skala A adalah skala yang digunakan untuk bahan plastic lembut, sedangkan skala D adalah skala yang digunakan untuk bahan lebih keras. Durometer Tipe A (Durometer Shore A) digunakan sebagai alat ukur kekerasan pada bahan karet seperti *Natural Rubber* (karet alam), *Neoprene Rubber* (karet kimia), *Styrene Rubber* (karet sintesis), *Nitrile Rubber* (Karet Nitril).

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 \tag{8}$$

2.1. Analisis Regresi

Analisis hubungan adalah bentuk analisis variable (data) penelitian untuk mengetahui derajat atau kekuatan hubungan, bentuk dan arah hubungan diantara variable-variabel, dan besarnya pengaruh variable yang satu (variable bebas, variable independen) terhadap variable lain nya (variabel terikat, variabel independen). Teknik statistic yang digunakan dalam analisis hubungan meliputi analisis korelasi (koefisien korelasi), koefisien penentu atau koefisien determinasi dan analisis regresi (persamaan regresi linier), baik untuk hubungan yang melibatkan hanya dua variabel maupun hubungan yang melibatkan lebih dari dua variabel serta uji statistic nya masing-masing [18].

Teknik statistik yang sering digunakan dalam analisis hubungan adalah analisis regresi. Regresi merupakan teknik statistic (alat analisis) hubungan yang digunakan untuk memperkirakan nilai dari satu variable dalam hubungan nya dengan variable yang lain melalui persamaan garis regresi.

Untuk hubungan yang melibatkan lebih dari dua variable digunakan adalah koefisien korelasi berganda, koefisien korelasi parsial, koefisien penentu berganda oleh karena itu teknik statistic yang akan dibahas khusus analisis regresi linier yaitu analisis regresi linier berganda.

Regresi Linier Berganda adalah Regresi linier dimana sebuah variable terikat (Variabel Y) dihubungkan dua atau lebih variable bebas (Variabel X). secara Umum, bentuk persamaan Regresinya adalah (yang diberikan hanya melibatkan tiga variable. Untuk data pengamatan disusun dalam Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Regresi Linier Berganda

Y	X ₁	X ₂	X ₁ ²	X ₂ ²	Y ²	X ₁ X ₂	X ₁ Y	X ₂ Y
...
Σ								

$$b_1 = \frac{(\sum x_2^2)(\sum x_1y) - (\sum x_2y)(\sum x_1x_2)}{(\sum x_1^2)(\sum x_2^2) - (\sum x_1x_2)^2} \tag{1}$$

$$b_2 = \frac{(\sum x_1^2)(\sum x_2y) - (\sum x_1y)(\sum x_1x_2)}{(\sum x_1^2)(\sum x_2^2) - (\sum x_1x_2)^2} \tag{2}$$

$$a = \frac{\sum Y - b_1 \sum X_1 - b_2 \sum X_2}{n} \tag{3}$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} \tag{4}$$

$$\bar{X}_1 = \frac{\sum X_1}{n} \tag{5}$$

$$\bar{X}_2 = \frac{\sum X_2}{n} \tag{6}$$

$$\sum x_1^2 = \sum X_1^2 - n \cdot \bar{X}_1^2 \tag{7}$$

$$\sum x_2^2 = \sum X_2^2 - n \cdot \bar{X}_2^2$$

$$\sum x_1y = \sum X_1Y - n \cdot \bar{X}_1 \bar{Y}$$

$$\sum x_2y = \sum X_2Y - n \cdot \bar{X}_2 \bar{Y}$$

$$\sum y^2 = \sum Y^2 - n \cdot \bar{Y}^2$$

$$\sum x_1x_2 = \sum X_1X_2 - n \cdot \bar{X}_1 \bar{X}_2$$

Persamaan regresi linier bergandanya:

Tabel 2. Tabel Regresi

spesimen	PSR (%)	RE (%)	H (%)
1	85	10	5
2	85	10	5
3	85	10	5
4	80	15	5
5	80	15	5
6	80	15	5
7	75	20	5
8	75	20	5
9	75	20	5

3. Hasil dan Pembahasan

Tabel 3. Hasil Pengujian Kekerasan

Komposisi	Pengujian Ke-	Variable Titik Uji			Rata-rata titik uji	Nilai Kekerasan (kgf/mm ²)
		Kiri	Tengah	Kanan		
85%PSR;10%RE;5%H	1	22,5	22	22,5	22,3	22,3
	2	22	23,5	22	22,5	22,5
	3	22	22,5	21,5	22	22
80%PSR;15%RE;5%H	1	28	29,5	29,5	29	29
	2	27,5	27,5	27	27,3	27,3
	3	27,5	28,5	27,5	27,83	27,83
75%PSR;20%RE;5%H	1	34,5	36,5	34,5	37,7	37,7
	2	36,5	38	38,5	38,3	38,3
	3	38,5	36	36,5	38	38

Tabel 4. Rata-Rata Uji Kekerasan

Komposisi	Pengujian Ke-	Perbandingan campuran	Nilai Uji Kekerasan (kgf/mm ²)	Rata-rata nilai uji Kekerasan (kgf/mm ²)
Komposisi 1	1		22,3	22,27
	2	85%PSR;10%RE;5%H	22,5	
	3		22	
Komposisi 2	1		29	28,04
	2	80%PSR;15%RE;5%H	27,3	
	3		27,83	
Komposisi 3	1		37,7	38
	2	75%PSR;20%RE;5%H	38,3	
	3		38	

Tabel 5. Hasil Uji Kekerasan (kgf/mm²)

X ₁	X ₂	X ₃	Y
0,85	0,10	0,5	22,3
0,85	0,10	0,5	22,5
0,85	0,10	0,5	22
0,80	0,15	0,5	29
0,80	0,15	0,5	27,3
0,80	0,15	0,5	27,83
0,75	0,20	0,5	37,7
0,75	0,20	0,5	38,3
0,75	0,20	0,5	38

Tabel 6. Data Hasil Pengujian Uji Kekerasan

No	X ₁	X ₂	Y	X ₁ ²	X ₂ ²	Y ²	X ₁ Y	X ₂ Y	X ₁ X ₂
1	0,85	0,10	22,3	0,7225	0,01	497,29	18,955	2,23	0,085
2	0,85	0,10	22,5	0,7225	0,01	506,25	19,125	2,25	0,085
3	0,85	0,10	22	0,7225	0,01	484	18,7	2,20	0,085
4	0,80	0,15	29	0,6400	0,02	841	23,2	4,35	0,12
5	0,80	0,15	27,3	0,6400	0,02	745,29	21,84	4,09	0,12
6	0,80	0,15	27,83	0,6400	0,02	774,51	22,26	4,17	0,12
7	0,75	0,20	37,7	0,5625	0,04	1421,29	28,28	7,54	0,15
8	0,75	0,20	38,3	0,5625	0,04	1466,89	28,73	7,66	0,15
9	0,75	0,20	38	0,5625	0,04	1444	28,5	7,60	0,15
Σ	7,2	1,35	264,93	5,775	0,21	8180,52	209,59	42,09	1,065

Persamaan Regresi Linier Bergandanya:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2$$

$$Y = 41,96 - 15,73 X_1 - 0,178 X_2$$

1) Formulasi Hipotesis

H₀: Tidak ada pengaruh *polimer silicon rubber* dan *resin epoxy* terhadap Uji kekerasan

H₁: Ada pengaruh pengaruh *Polimer Silicon Rubber* dan *Resin Epoxy* terhadap Uji kekerasan

Taraf nyata (α) dan F table

Taraf nyata (α) = 5% (0,05)

Nilai F table dengan derajat bebas(db),

$$v_1 = m - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$v_2 = n - m = 9 - 3 = 6$$

F_{0,05;2;6} = 5,14 (lihat table F pada lampiran)

2) Kriteria pengujian

H₀ diterima (H₁ ditolak) apabila F₀ ≤ 5,14

H₀ ditolak (H₁ diterima) apabila F₀ > 5,14

3) Nilai uji statistik

$$R = \sqrt{\frac{b_1 \sum x_1 y + b_2 \sum x_2 y}{\sum y^2}} = \sqrt{\frac{(-15,73)(-2,350) + (-0,178)(2,351)}{381,86}}$$

$$= \sqrt{\frac{36,97 - 0,418}{381,86}} = \sqrt{0,096} = 0,31$$

$$F_0 = \frac{R^2(n-k-1)}{k(1-R^2)}$$

$$= \frac{(0,31)^2(9-2-1)}{2(1-(0,31)^2)} = \frac{(0,096).(6)}{2.(0,904)} = 0,32$$

Maka didapat:

$$F_0 = 0,32 < F_{0,05;2;6} = 5,14$$

Karena F-Hitung kecil dari F-tabel maka H₀ diterima

4. Simpulan

Hasil pengujian kekuatan uji kekerasan dengan komposisi *Polimer Silicon Rubber* Paduan *Resin Epoxy* dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Kekerasan rata-rata material dari tiga komposisi 1 perbandingan campuran 85%PSR;10%RE;5%H nilai kekerasan 22,27 kgf/mm², Komposisi 2 dengan perbandingan campuran 80% PSR;10%RE;5%H nilai kekerasan 28,04 kgf/mm² dan Komposisi 3 perbandingan campuran 75%PSR;20%RE;5%H nilai kekerasan 38 kgf/mm². Nilai kekerasan yang paling baik sebagai bahan *Lift seal bucket excavator* ada pada komposisi 3 dengan perbandingana campuran 75%PSR;20%RE;5%H dengan nilai kekerasan 38 kgf/mm².
- 2) Pengaruh *polimer silicon rubber* paduan *resin epoxy* menggunakan analisa regresi linier berganda, pengujian uji kekerasan didapat lah Arah hubungan dan koefisien regresi sebagai berikut: Variabel X₁ (*Polimer Silicon Rubber*) sebesar - 15,73 Tanda b⁻ berarti hubungan antara kekuatan uji kekerasan dan *Polimer Silikon Rubber* adalah negatif atau setiap kenaikan

Polimer sebesar 1% maka kekuatan uji kekerasan akan menurun sebesar 15,73 kgf/mm². Variabel X_2 (*Resin Epoxy*) sebesar 0,178 kgf/mm². Tanda b”.” berarti hubungan antara kekuatan uji kekerasan dan resin adalah negatif atau setiap kenaikan resin sebesar 1% maka kekuatan uji kekerasan akan Menurun sebesar 0,178 kgf/mm². Berdasarkan analisis hipotesa diatas tidak ada pengaruh yang signifikan antara Polimer Silicon Rubber dan resin Epoxy terhadap hasil pengujian kekuatan uji kekerasan. Jadi polimer silicon rubber dan resin epoxy sama-sama berpengaruh dalam bahan produk *seal* bucket excavator.

- 3) Proses pembuatan bahan Lift *seal* sesuai standard seleksi bahan produk *seal* dan O-ring yang ditetapkan oleh **Engineered Seal Products (ESP)** untuk material silicon rubber yaitu 20 – 80 kgf/mm². Komposisi 3 perbandingan campuran 75%PSR;20%RE;5%H nilai kekerasan 38 kgf/mm² Masuk nominasi standar seleksi bahan *seal* ESP.

Referensi

- [1] Arum Yuniari dan Nursamsi Sarengat [2013] Sifat Fisika dan Analisis Gugus Fungsi Karet *Seal* O-Ring dari Bahan Termoplastik Elastomer Nitrile Butadiene Rubber (NBR) Dan Poliyvinyl Chloride (PVC) Article in Majalah Kulit Karet dan Plastik.
- [2] Anonim, 2011. Basic Mechanic Hydraulic Excavator Komatsu PC200-8 PT. United Tractors Tbk Medan.
- [3] Akhmad Herdianto, Zaid Sulaiman , Dodi Iwan Sumarnob [2023]. Pengaruh Penambahan Natural Rubber Pada Ban Dalam Dengan Metode Pressure Jurnal Perancangan, Manufaktur, Material, Dan Energi (JURNAL PERMADI) ISSN 1570009926 35 Vol. 5., No. 1, Januari 2023, pp. 228 – 234 <https://permadi.nusaputra.ac.id/index>.
- [4] ASTM D2240. Standard Test Method for Rubber Property— Durometer Hardness. (all rights reserved); Tue May 9 13:08:59 EDT 2017.
- [5] Anggit G Prayoga, Djoko Suprijanto,”Perancangan Sistem Hidrolik Excavator Komatsu PC 200 – 8MO”, 2020.
- [6] A.Nurdin, S. Hastuti, H. P. D., and R. H., “Pengaruh Alkali dan Fraksi Volume terhadap Sifat Mekanik Komposit Serat Akar Wangi – Epoxy,” Rotasi, vol. 21, no.1, p. 30, 2019.
- [7] Deswita, Sudirman, Aloma Karo Karo dan Indra Gunawan. Pengaruh Penambahn Liquid Natural Rubber Pada Polyblend Elastomer Termoplastik – Polipropilen. Jurnal Sains Materi Indonesia Indonesian Journal of Materials Science Vol. 9 No. 2, Februari 2008, hal : 156 - 160 ISSN : 1411-1098.
- [8] Buku penuntun pengoperasian dan perawatan hitachi zaxis zx 110.
- [9] F. Ardianto,”Analisa Kerusakan Sistem Hidrolik Pada Boom Selinder Unit Excavator XGMA XG822E1”, 2019.
- [10] Gibson, F.R., 1994, Principle of Composite Material Mechanis, International Ed, McGraw- Hill, Inc., New York.
- [11] Hendri Kurniawan,”Analisa Defleksi Pada Rod Bucket Di Sistem Hidrolik Excavator Zakis 210MF SN 70165 5G”. <https://omnexus.specialchem.com/polymer-property/hardness-shore>.
- [12] Iqbal Hasan.[2004] Analisis Data Penelitian Dengan Statistik. PT Bumi Aksara. Jakarta 13220.
- [13] Irawati Dewi Syahwir, Pengujian kekerasan dan uji tarik terhadap isolator dengan bahan pengisi abu sekam padi dan silicone rubber, Majalah: Diklat Kemetrolagian Vol. 4 No. 2 Tahun 2011. ISSN 2088 – 6608.
- [14] Jenni Ria R.,MSi, “Diktat Material Teknik” 2002.
- [15] PT. Volvo, Buku Panduan Operator EC200D. Ref No: 20052964 – B.
- [16] Riki Effendi, Harmanung Adi Susilo, Muhammad Al Haramain,”Perancangan Selinder Hidrolik Pada Mesin Molding Karet Dengan Kapasitas 25 Ton” 2007.
- [17] Rusmiyatno, Fandhy. (2007). Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekuatan Bending Komposit Nylon/Epoxy Resin Serat Pendek Random.Skripsi. Semarang, Indonesia: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- [18] Xometry 2023, <https://www.Xometry.com.ResourcesMaterials>.