

KAITAN VISKOSITAS *COUPLANT* DENGAN SENSITIVITAS SENSOR ULTRASONIK UNTUK UJI TAK RUSAK

Cici Purnawati^{1,*}, Adrianus Inu Natalisanto², Supriyanto²

¹Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman

²Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman

*Corresponding Author: cicipurnawati.11@gmail.com

Abstrak Kaitan viskositas *couplant* dengan sensitivitas sensor ultrasonik dalam uji tak rusak telah diturunkan secara teoretis dan dibuktikan secara empiris. Kajian teori dilakukan dengan menebak pola matematis sebaran data dan mengajukan asumsi yang mengaitkan intensitas ultrasonik terhadap rapat massa *couplant* dan eksponensial dari viskositas *couplant*, ketebalan material dan koefisien redaman. Dari kajian teori diperoleh kaitan berbentuk persamaan logaritmik. Eksperimen dilakukan dengan mengaktifkan transduser ultrasonik untuk mengirimkan gelombang pulsa ultrasonik ke dalam benda uji yang dilapisi *couplant* dan merekam intensitas gelombang ultrasonik pantul. Dari hasil eksperimen dengan beragam *couplant* diperoleh konstanta redaman *couplant*. Konstanta redaman *couplant* gliserin berturut-turut adalah $(0,421 \pm 0,263)$ untuk ketebalan benda uji 12,5 mm; $(0,472 \pm 0,236)$ untuk ketebalan benda uji 10 mm; $(0,648 \pm 0,243)$ untuk ketebalan benda uji 7,5 mm; $(0,926 \pm 0,232)$ untuk ketebalan benda uji 5 mm; dan $(1,732 \pm 0,217)$ untuk ketebalan benda uji 2,5 mm. Konstanta redaman *couplant* CMC berturut-turut adalah $(0,404 \pm 0,252)$ untuk ketebalan benda uji 12,5 mm; $(0,504 \pm 0,252)$ untuk ketebalan benda uji 10 mm; $(0,672 \pm 0,252)$ untuk ketebalan benda uji 7,5 mm; $(1,007 \pm 0,252)$ untuk ketebalan benda uji 5 mm; dan $(2,017 \pm 0,252)$ untuk ketebalan benda uji 2,5 mm.

Kata kunci Ultrasonik NDT, Sensitivitas Sensor, Viskositas Couplant, Intensitas Ultrasonik, Koefisien Redaman.

Pendahuluan

Dalam konstruksi tangki penyimpanan dan pemipaan kerap dilakukan proses pengelasan (*welding*). Namun sering terjadi penyambungan dalam proses pengelasan tersebut tidak sempurna, seperti terdapat cacat las *crack* (CR), *incomplete fusion* (IF), *incomplete penetration* (IP), dan *elongated indication* (EI) [1].

Cacat las pada suatu konstruksi apabila tidak segera ditangani dapat menimbulkan penjaralan retak yang lebih meluas sehingga dapat menyebabkan patah getas yang merugikan. Untuk mengetahui keberadaan cacat di bawah permukaan konstruksi dapat dilakukan dengan metode uji ultrasonik.

Dalam makalah ini akan diungkap kaitan sensitivitas pendeteksian metode ultrasonik terhadap pengaruh variasi *couplant* yang digunakan dalam pengujian.

Pengujian Ultrasonik

Penelitian yang berhubungan dengan penggunaan energi suara telah dimulai lebih dari satu abad yang lalu dan terus mengalami pengembangan hingga kini. Langkah awal penelitian tersebut dimulai pada tahun 1870-an lewat publikasi Lord Rayleigh yang berjudul "*The Theory of*

Sound". Karya tersebut mengungkap sifat dan karakteristik gelombang suara dalam zat padat, zat cair dan gas. Pemahaman akan sifat dan karakteristik gelombang, khususnya gelombang frekuensi tinggi (ultrasonik), telah mendorong pengembangan teknik-teknik yang digunakan dalam pengujian tak merusak [1].

Sokolov dari Rusia merupakan orang pertama yang meneliti tentang gelombang ultrasonik. Ia menerapkan gelombang tersebut untuk mendeteksi keretakan pada logam. Sejak tahun 1929 tercatat sejumlah eksperimen telah dilakukannya. Pada tahun 1935 ia berhasil mendisain *piezoelectric transducer* yang dapat membangkitkan dan mendeteksi gelombang ultrasonik. Kemudian sekitar tahun 1942 ia berhasil menemukan teknik *pulse echo* (teknik gema) untuk memperoleh kurva karakteristik gelombang ultrasonik pantul yang berisi informasi keretakan logam. Sementara itu, di Inggris, penelitian tentang gelombang ultrasonik dipelopori oleh D. O. Sproule dan di Amerika Serikat dipelopori oleh F. Firestone. Penelitian tentang gelombang ultrasonik dapat memberikan pemahaman akan sifat dan karakteristik gelombang ultrasonik. Pemahaman itu yang melandasi perumusan

prinsip kerja sistem pengujian tak rusak berbasis ultrasonik (UT-NDT, Ultrasound Test – Non Destructive Testing) [1].

Ultrasonik merupakan gelombang suara dengan panjang gelombang yang cukup kecil (10^{-5} cm s.d. 0,1 cm). Panjang gelombang yang cukup kecil tersebut menjadikannya cukup signifikan untuk dimanfaatkan secara luas dalam bidang industri, yaitu dimanfaatkan untuk pengujian tak merusak/ *Nondestructive Testing* (NDT) material. Pemanfaatan untuk uji material tersebut dimungkinkan karena dengan panjang gelombang ultrasonik yang kecil tersebut akan memudahkannya dipantulkan oleh suatu cacat yang kecil dalam material. Cacat kecil itu, misalnya retakan, yang memiliki impedansi akustik yang menyebabkan gelombang ultrasonik terpantul [6].

Pengujian ultrasonik didasari atas adanya peristiwa deformasi yang bervariasi terhadap waktu dan getaran pada material yang biasa disebut sebagai gelombang akustik. Gelombang akustik terjadi pada partikel yang atom-atomnya bergerak serempak untuk menghasilkan gelombang mekanik. Bila suatu material tidak berada dalam kondisi di atas batas keelastisannya, maka partikel-partikel penyusun material tersebut akan mengalami perpindahan terhadap titik kesetimbangannya dan akan mendapat dorongan berlawanan arah oleh suatu gaya yang disebut gaya pembalik. Gaya tersebut yang menimbulkan gerak osilasi di suatu medium berperan dalam perambatan gelombang suara.

Couplant

Couplant merupakan gel ultrasonik yang digunakan sebagai media perantara antara transduser (elemen piezoelektrik) dan material uji. Dengan bantuan media tersebut berkas gelombang ultrasonik yang diteruskan ke dalam material uji akan lebih banyak [2].

Bila sebuah transduser hanya ditempelkan pada material yang akan diperiksa, maka sebagian besar gelombang yang berasal dari transduser akan direfleksikan kembali. Hal ini terjadi karena adanya celah udara antar permukaan transduser dan material tersebut walaupun sangat sempit. Celah udara tersebut merupakan media yang tidak dapat dilewati oleh gelombang ultrasonik.

Untuk mengatasi masalah terdapatnya celah udara antara transduser dan material uji, disisipkanlah media lain, yaitu *couplant*, yang bersifat elastik dan berfungsi untuk

menghubungkan antara transduser dengan material yang akan diperiksa tersebut.

Penggunaan *couplant* dapat meningkatkan transmisi energi gelombang ultrasonik ke dalam suatu material. Dengan menggunakan *couplant*, berkas gelombang ultrasonik yang masuk ke dalam material dapat lebih ditingkatkan karena *couplant* memiliki impedansi akustik 10^4 kali lebih tinggi dari impedansi akustik udara [5].

Efektivitas *couplant* yang diberikan tergantung pada impedansi akustik, penyerapan akustik, ketebalan dan viskositas. Masing-masing dapat memiliki pengaruh yang kuat pada respon sensitivitas sensor dan akhirnya dapat mengubah cara sensor merespon mode gelombang yang berbeda. Penelitian ini mempertimbangkan beberapa jenis *couplant* ultrasonik dan membandingkan respon sensor pada setiap *couplant* yang digunakan.

Metode

Penelitian ini dilaksanakan di PT.Sucofindo Muara Badak dan di Laboratorium Fisika Dasar Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mulawarman. Pengambilan data primer pengujian ketebalan plat logam *carbon steel* dilakukan di PT. Sucofindo dengan menggunakan *couplant* yang beragam, yaitu: air, gliserin dan *carboxymethyl cellulose* (CMC). Kemudian pengukuran nilai koefisien viskositas masing-masing *couplant* tersebut dilakukan di Laboratorium Fisika Dasar Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mulawarman (Fakultas MIPA).

Tahapan dalam pengukuran dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu: pertama, pengukuran intensitas ultrasonik dengan pengujian ketebalan plat logam menggunakan panametric Epoch 650 dan, kedua, pengukuran viskositas *couplant* dengan teknik bola jatuh menggunakan satu unit alat pengukur koefisien viskositas milik laboratorium fisika dasar Fakultas MIPA.

Penentuan nilai intensitas ultrasonik dimulai dengan mengumpulkan data pengujian berupa data parameter untuk penghitungan intensitas dari masing-masing *couplant*. Parameter tersebut adalah impedansi akustik (Z), frekuensi ultrasonik (f), dan amplitude ultrasonik (A). Nilai intensitas I (bersatuan W/m^2) ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$I = \frac{1}{2} Z(A2\pi)^2. \quad (1)$$

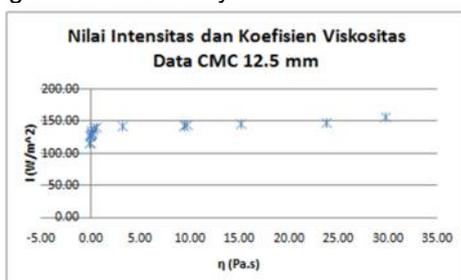
Penentuan nilai koefisien viskositas *couplant* dimulai dengan mengumpulkan data parameter yang digunakan dalam penghitungan koefisien viskositas, meliputi: massa jenis bola (ρ), massa jenis fluida (ρ'), jari-jari bola (r), waktu tempuh bola saat jatuh (t), dan jarak jatuh bola (d). Nilai koefisien viskositas (bersatuan $Pa.s$) untuk masing-masing *couplant* ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{2}{9} r^2 \frac{\rho - \rho'}{d/t} g. \quad (2)$$

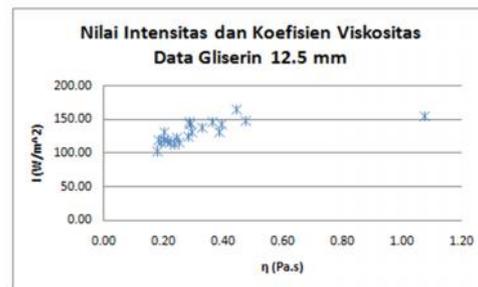
Langkah terakhir adalah penganalisaan kaitan antara intensitas dan viskositas *couplant*. Penganalisaan tersebut adalah dengan menggunakan perangkat uji statistik, yakni: diagram pencar, uji penolakan data menurut kriteria chauvenet, uji hipotesis nol, dan analisa regresi. Dari uji tersebut diperoleh formula empiris sensitivitas uji ultrasonik. Formula yang telah diperoleh tersebut digunakan untuk acuan dalam pengajuan asumsi teoretis penurunan kaitan intensitas gelombang ultrasonik dan sensitivitas uji ultrasonik secara teoritis.

Hasil dan Analisa Eksperimen

Hasil eksperimen kaitan viskositas *couplant* terhadap intensitas ultrasonik diperlihatkan pada Gambar 1 untuk variasi *couplant* CMC (*Carboximethyl Cellulose*) dan pada Gambar 2 untuk variasi *couplant* glyserin. Kedua gambar tersebut memperlihatkan bahwa semakin kecil nilai koefisien viskositas *couplant*, maka semakin kecil intensitas ultrasonik yang ditransmisikannya. Sebaliknya, semakin besar nilai koefisien viskositas *couplant*, maka semakin besar intensitas ultrasonik yang ditransmisikannya.



Gambar 1. Grafik kaitan viskositas *couplant* CMC terhadap intensitas bunyi yang ditransmisikan ke dalam plat 12.5 mm



Gambar 2. Grafik kaitan viskositas *couplant* gliserin terhadap intensitas bunyi yang ditransmisikan ke dalam plat 12.5 mm

Hasil dan Analisa Teori

Hukum fisika merupakan generalisasi ilmiah dari hasil pengamatan empiris atas suatu peristiwa alam. Generalisasi tersebut berupa kaitan antar konsep yang terdapat pada peristiwa tersebut. Richard Feynman menambahkan bahwa generalisasi berupa irama dan pola tersebut hanya dapat dilihat dengan mata analitis. Selanjutnya, Einstein menambahkan bahwa hukum tersebut dapat diturunkan dengan berlandaskan pada asumsi yang dibangun sejalan dengan peristiwa tersebut.

Kaitan intensitas terhadap koefisien viskositas dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2. Dari gambar tersebut terlihat bahwa pola kaitan secara empiris mengikuti bentuk kurva eksponensial, yaitu $y = a(1 - e^{-x})$.^[4]

Bentuk persamaan empiris tersebut akan dibuktikan lewat penurunan sebagai berikut. Diasumsikan bahwa diferensial dari intensitas ultrasonik terhadap koefisien viskositas ($\frac{dI}{d\eta}$) sebanding dengan rapat massa *couplant* (ρ) dan eksponensial dari koefisien viskositas *couplant* (η), ketebalan material (d) dan tetapan redaman (k_2). Pernyataan tersebut memenuhi persamaan:

$$\frac{dI}{d\eta} \sim \rho e^{-k_2\eta} \quad (3)$$

$$dI = k_1 \rho e^{-k_2\eta} d \quad (4)$$

Dengan mengintegrasikan persamaan (4) dikedua sisi, maka diperoleh

$$I = \frac{k_1 \rho}{k_2} (1 - e^{-k_2\eta}) \quad (5)$$

yang untuk $\eta \rightarrow \infty$ maka

$$I = \frac{k_1 \rho}{k_2} \quad (6)$$

sehingga diperoleh

$$I_{\eta} = I (1 - e^{-k_2 \eta}) \quad (7)$$

Dari persamaan (7) dapat diturunkan persamaan yang mengaitkan nilai sensitivitas dari pengujian ultrasonik dengan viskositas *couplant*, yaitu:

$$S = 10 \log (1 - e^{-k_2 \eta}) \quad (8)$$

Penentuan Nilai Tetapan

Penentuan nilai tetapan dalam persamaan (7) dan (8) dilakukan dengan membuat grafik kaitan antara intensitas dan koefisien viskositas. Dengan nilai intensitas pada sumbu Y sebagai variabel terikat dan koefisien viskositas pada sumbu X sebagai variabel bebas. Berdasarkan pola yang terbentuk, digunakanlah perhitungan dengan menggunakan proses reduksi error (regresi linear). Berdasarkan bahan yang digunakan, maka perhitungan regresi dibagi menjadi dua yaitu data CMC dan data Gliserin. Berdasarkan ketebalan benda uji, maka perhitungan regresi dibagi menjadi 10 data yaitu 5 data CMC dan 5 data gliserin dengan ketebalan benda uji masing-masing yaitu 12,5 mm; 10 mm; 7,5 mm, 5 mm dan 2,5 mm.

Untuk penentuan nilai k_2 pada persamaan (7), dilakukan pengelompokan sehingga diperoleh:

$$\frac{I_{\eta}}{I} = 1 - e^{-k_2 \eta} \quad (9)$$

Persamaan (9) disusun ulang memberikan persamaan

$$e^{-k_2 \eta} = 1 - \frac{I_{\eta}}{I} \quad (10)$$

Logaritma dari persamaan (10) adalah

$$\ln(e^{-k_2 \eta}) = \ln\left(1 - \frac{I_{\eta}}{I}\right) \quad (11)$$

Persamaan (11) kemudian menghasilkan

$$\ln\left(1 - \frac{I_{\eta}}{I}\right) = -k_2 \eta \quad (12)$$

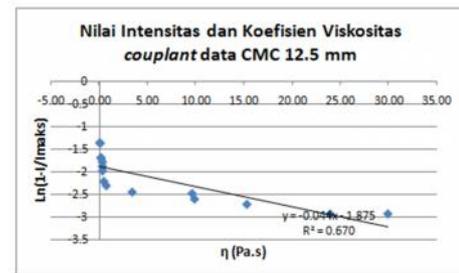
Gradient garis dari regresi linear antara logaritma intensitas terhadap koefisien viskositas merupakan nilai dari $(-k_2 d)$ dan diperoleh

$$k_2 = -\frac{m}{d} \quad (13)$$

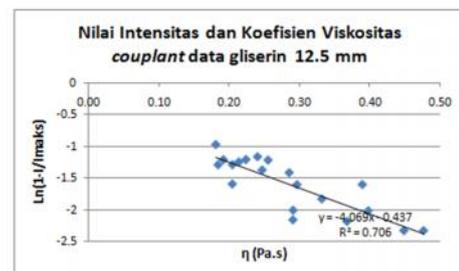
sehingga diperoleh pula nilai k_1 yaitu:

$$k_1 = \frac{I k_2 d}{\rho} \quad (14)$$

Grafik-grafik regresi linear yang terkait diperlihatkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Regresi linear antara logaritma intensitas dengan viskositas dengan *couplant* CMC



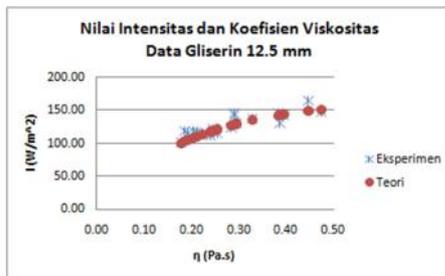
Gambar 4. Regresi linear antara logaritma intensitas dengan viskositas dengan *couplant* gliserin

Berdasarkan Gambar 3 terlihat bahwa nilai koefisien determinasi (R^2) yaitu 0,670 atau 67 %. Sedangkan pada gambar (4) koefisien determinasinya (R^2) bernilai 0,706 atau 70,6 %. Nilai koefisien determinasi yang lebih dari 50 % menandakan adanya korelasi yang kuat dan erat antara dua variabel X dan Y [3]. Hal tersebut berarti bahwa terdapat korelasi yang kuat antara logaritma perbandingan intensitas dengan koefisien viskositas atau dapat disimpulkan bahwa persamaan regresi linear eksperimen telah sesuai dengan model persamaan regresi linear teori.

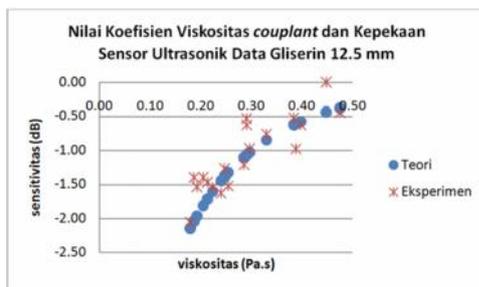
Perbandingan Hasil Eksperimen dan Teori

Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa nilai intensitas yang diperoleh secara eksperimen dapat didekati dengan nilai intensitas teori. Hal ini berarti bahwa kaitan antara koefisien viskositas *couplant*

dan intensitas ultrasonik maupun sensitivitas alat uji ultrasonik dapat diperoleh dengan metode ilmiah.



Gambar 5. Grafik perbandingan intensitas gelombang ultrasonik secara eksperimen dan teori data gliserin



Gambar 6. Grafik perbandingan nilai kepekaan sensor ultrasonik secara eksperimen dan teori data gliserin

Faktor lain yang juga diperhitungkan dalam mencari kepekaan sensor ultrasonik yaitu konstanta redaman *couplant* yang digunakan. Dengan hasil perhitungan formula secara eksperimen menggunakan metode kuadrat terkecil diperoleh suatu kaitan intensitas gelombang ultrasonik yang sebanding dengan eksponensial koefisien viskositas dan konstanta redaman *couplant* yang digunakan tersebut. Konstanta redaman (*k*) untuk data CMC dan gliserin berdasarkan hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai konstanta redaman *couplant*

Ketebalan Benda Uji (mm)	Konstanta redaman (<i>k</i>)	
	CMC	Gliserin
12.5	0.404 ± 0.252	0.421 ± 0.263
10	0.504 ± 0.252	0.472 ± 0.236
7.5	0.672 ± 0.252	0.648 ± 0.243
5	1.007 ± 0.252	0.926 ± 0.232
2.5	2.017 ± 0.252	1.732 ± 0.217

Kesimpulan

Telah diperoleh secara teori kaitan koefisien viskositas *couplant* dengan intensitas ultrasonik berbentuk persamaan eksponensial dan secara eksperimen telah

dibuktikan keberlakuannya. Secara teori juga telah diperoleh kaitan viskositas *couplant* dengan sensitivitas ultrasonik berbentuk persamaan logaritmik dan secara eksperimen telah dibuktikan keberlakuannya.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Nevan Rovane, ST dari PT Sucofindo yang telah mengizinkan penulis untuk melakukan penelitian uji ultrasonik di PT. Sucofindo dan Tim UT-Man yang telah berbagi ilmu kepada penulis. Bapak Kepala Laboratorium Fisika Dasar dan Kepala Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi FMIPA Unmul yang telah memberikan saran dan mengizinkan menggunakan alat-alat laboratorium.

Daftar Pustaka

- [1] Edwin, Rhyan. 2010. *Analisis Sinyal Sistem UT-NDT Sonact-X Untuk Pendeteksian Keretakan Tabung CNG*. Skripsi Fisika, Universitas Indonesia: Depok.
- [2] Fathoni, MH., Pirngadi, Harris., dan Rivai Muhammad. 2013. *Perancangan, Pembuatan dan Karakterisasi Transduser Ultrasonik 3,5 MHz untuk Pengujian Bahan Padat*. Jurnal Teknik. Fakultas Teknologi Industri. ITS: Surabaya.
- [3] Furqon. 2009. *Statistika Terapan Untuk Penelitian*. Alfabet: Bandung
- [4] Stroud, K.A. 2003. *Matematika Teknik Edisi Kelima Jilid 2*. Erlangga: Jakarta.
- [5] Theobald, Pete., Bajram Zeqiri., Janine Avison. 2008. *Couplants and Their Influence On AE Sensor Sensitivity*. Journal National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, United Kingdom.
- [6] Widharto, Sri. 2007. *Diktat NDT Non Radiasi*. Jakarta.
- [7] ASME. 2010. *Nondestructive Examination V*. ASME International: USA