

Penentuan Densitas Akrilik dan Plastik berdasarkan Citra Radiografi Digital

Gede A. Wiguna,^{1,*} Almahdi M. Alshweikh,² Gede B. Suparta,² Andreas C. Louk,³ dan Kus Kusminarto²

¹Pendidikan Informatika, STKIP Citra Bina Nusantara, Jl. Manafe No 17 Kayu Putih, Kupang, NTT 85111

²Departemen Fisika FMIPA, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara Bulaksumur, Yogyakarta 55281

³Departemen Fisika, FST Universitas Nusa Cendana, Jl. Adi Sucipto Penfui, Kupang, NTT 85001

Intisari

Radiografi sinar-X merupakan teknik pencitraan yang memanfaatkan radiasi sinar-X terusan yang menembus obyek. Teknik ini merupakan teknik yang bersifat tidak merusak sehingga banyak digunakan untuk uji tak rusak dalam industri dan untuk diagnostic dalam kesehatan. Pada paper ini dilaporkan penggunaan peralatan radiografi sinar-X mikro digital yang telah dibuat di Departemen Fisika FMIPA UGM untuk mengukur densitas bahan plastik dan akrilik. Untuk itu dibuat *phantom step wedge* dari bahan akrilik dan dari bahan plastik. Densitas dihitung berdasarkan variasi perbedaan intensitas yang melewati *phantom step wedge*. Dari hasil pengukuran diperoleh nilai densitas akrilik sebesar $0,79 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$ dan densitas plastik sebesar $0,92 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$. Jika pengukuran nilai densitas secara langsung dibandingkan dengan nilai densitas pengukuran menggunakan radiografi digital diperoleh nilai densitas radiografi digital lebih rendah sekitar 34,18% untuk bahan akrilik dan 23,91% untuk bahan plastik.

Abstract

X-ray radiography is an imaging technique that utilizes continuous X-ray radiation that penetrates objects. This technique is a non-destructive technique that is widely used for nondestructive testing in industry and for diagnostics in health. This paper is reported the use of digital micro x-ray radiography equipment which was made by the Physics Department of FMIPA UGM to measure the density of plastic and acrylic materials. For this reason, phantom step wedge is made from acrylic and plastic materials. Density is calculated based on variations in the intensity difference that passes through the step wedge phantom. Based on the computation, the result obtained acrylic density value of $0.79 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ and plastic density of $0.92 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$. If the computation of the density value is directly compared to the value of density computation using digital radiography, the digital radiography density value is approximately lower 34.18% for acrylic material and 23.91% for plastic material.

Keywords: density; mass coefficient attenuation; digital radiography.

<http://dx.doi.org/10.12962/j24604682.v15i1.4291>

2460-4682 ©Departemen Fisika, Fakultas Sains-ITS

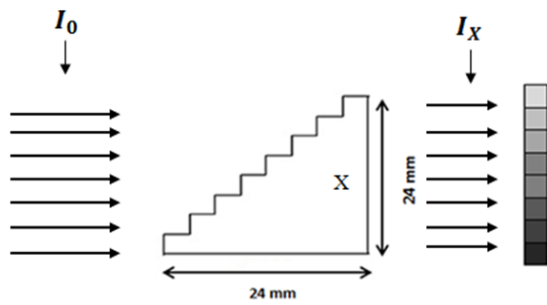
I. PENDAHULUAN

Sejak penemuan sinar-X oleh Wilhelm C. Rontgen pada tahun 1895, teknik radiografi telah digunakan di berbagai bidang diantaranya bidang industri contohnya pengelasan sambungan pipa [1], bidang kedokteran [2], bidang arkeologi [3]. Teknik radiografi sinar-X adalah salah satu teknik pencitraan non-invasif tanpa merusak (*non destructive testing*) sampel untuk visualisasi struktur internal sampel yang diteliti. Teknik ini menggunakan perubahan intensitas sinar-X yang ditransmisikan melalui sampel yang dideteksi [4]. Ap-

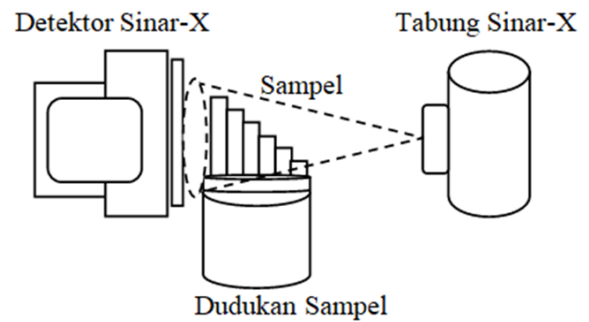
likasi dalam industri misalnya dilaporkan oleh Wang dan Liao (2002) [1] dimana inspeksi struktur yang dilas sangat penting untuk memastikan bahwa kualitas hasil las memenuhi persyaratan desain dan operasi, sehingga menjamin keamanan dan kehandalan.

Sistem radiografi terus mengalami perkembangan dari sistem radiografi konvensional (analog) menjadi sistem radiografi digital. Keduanya berbeda karena perbedaan pada unit detektor pendeteksi sinar-X yang digunakan [5]. Radiografi konvensional memanfaatkan film sebagai unit pendeteksi, sedangkan radiografi digital memanfaatkan detektor yang dapat menghasilkan citra digital. Ketika citra radiografi digital hendak ditampilkan, pengguna dapat menyesuaikan properti dari citra digital dengan cara mengubah parameter seperti kecerahan, kontras, dan pembesaran [6]. Keuntungan lain

*Electronic address: gede.arya@cbn.ac.id



Gambar 1: Ilustrasi paparan sinar-X pada obyek berbentuk Stepwadge [9].



Gambar 2: Skema peralatan radiografi sinar-X.

dari radiografi digital yaitu peningkatan efisiensi dosis, dan jangkauan dinamis detektor digital yang lebih besar dengan kemungkinan pengurangan paparan radiasi pada pasien [7].

Ketika sinar-X mengenai suatu bahan, maka sinar-X akan berinteraksi dengan bahan tersebut. Proses interaksi ini menyebabkan hilangnya sebagian intensitas sinar-X. Besarnya intensitas radiasi terusan menurun secara eksponensial terhadap ketebalan bahan. Sinar-X dengan intensitas awal I_0 akan berkurang menjadi I_x setelah menembus bahan setebal x . Intensitasnya akan berubah sesuai persamaan Lambert-Beer [8],

$$I_x = I_0 e^{-\mu x} \tag{1}$$

dengan μ adalah koefisien atenuasi linier.

Apabila digunakan obyek berbentuk *step wadge* seperti ditunjukkan pada Gambar 1, maka intensitas sinar-X sebelum menembus bahan digunakan sebagai intensitas awal (I_0), sedangkan intensitas sinar-X yang menembus bahan merupakan intensitas terusan (I_x).

Bila diasumsikan bahwa bahan bersifat homogen dan koefisien atenuasi linier bernilai konstan, maka Persamaan (1) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\ln\left(\frac{I_0}{I_x}\right) = \mu x \tag{2}$$

Nilai μ merupakan gradien garis dari Persamaan (2), yang dapat diperoleh dengan melakukan *fitting* dari hubungan $\ln(I_0/I_x)$ dengan ketebalan (x). Pada penelitian ini suatu citra radiografi obyek *step wadge* dari bahan plastik dan akrilik diperoleh sehingga nilai I_0 merupakan nilai *graylevel background*, sedangkan I_x adalah nilai *graylevel* citra pada obyek *step wadge*.

Koefisien atenuasi massa atau koefisien serapan massa didefinisikan sebagai koefisien serapan pada suatu ketebalan 1 gram bahan dengan luas permukaan 1 cm². Satuan dari koefisien atenuasi massa yaitu g/cm². Koefisien atenuasi massa dapat dihitung secara tidak langsung melalui penurunan per-

samaan berikut:

$$I_x = I_0 e^{-\mu_m x} \tag{3}$$

$$\ln\left(\frac{I_0}{I_x}\right) = \mu_m x \tag{4}$$

$$\ln\left(\frac{I_0}{I_x}\right) = \frac{\mu}{\rho} x \rho \tag{5}$$

$$\ln\left(\frac{I_0}{I_x}\right) = \mu_m x \rho \tag{6}$$

$$\tag{7}$$

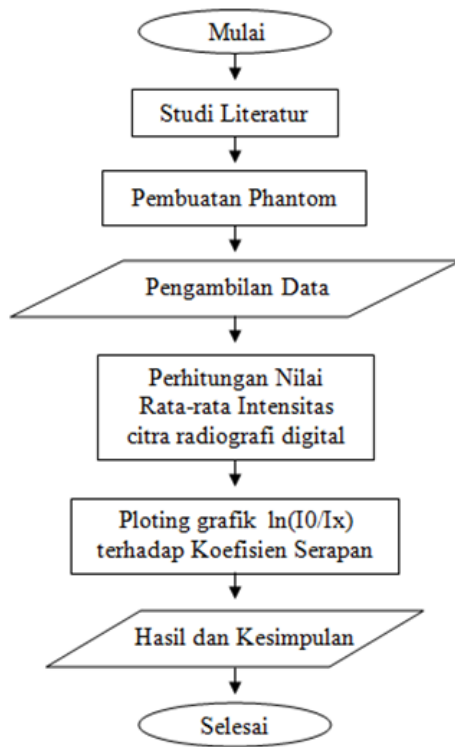
Berdasarkan Persamaan (6) dapat ditunjukkan bahwa koefisien atenuasi massa adalah $\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$. Dengan melakukan *plotting* grafik antara $\ln\left(\frac{I_0}{I_x}\right)$ sebagai sumbu y dan $[\mu_m \cdot x]$ sebagai sumbu x maka diperoleh densitas (ρ) bahan.

Penggunaan sinar-X pada bidang kesehatan salah satunya yaitu untuk pengukuran kepadatan tulang. Pengukuran ini menggunakan *Dual energy x-ray absorptiometry* (DEXA). Peralatan ini tidak semua rumah sakit memilikinya serta biaya pemeriksaannya juga mahal. Oleh karena itu untuk membantu mengetahui kepadatan tulang diperlukan metode pengukuran kepadatan tulang.

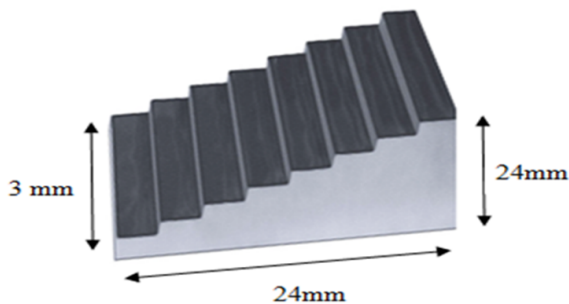
Pada penelitian ini diajukan metode pengukuran densitas menggunakan radiografi digital. Metode ini digunakan untuk menghitung densitas secara tak merusak. Densitas merupakan parameter penting untuk mengetahui kepadatan sebuah benda. Dengan mengetahui densitas tulang maka dapat digunakan sebagai acuan kepadatan tulang.

II. METODOLOGI

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu *X-ray Micro-Digital Radiography* yang telah dikembangkan oleh Lab. Atom & Inti, Jurusan Fisika FMIPA UGM [10]. Setup peralatan penelitian ditunjukkan pada Gambar 2. Adapun peralatan terdiri dari generator sinar-X (*X-Ray tube*) dengan target anode molibdenium (Mo) sebagai pembangkit sinar-X, pemegang sampel, dudukan sampel dan detektor fluoresens (*x-ray detector*) yang digandeng dengan kamera CMOS. Kamera CMOS dikendalikan oleh perangkat lunak khusus yang dikembangkan untuk akuisisi citra radiografi.

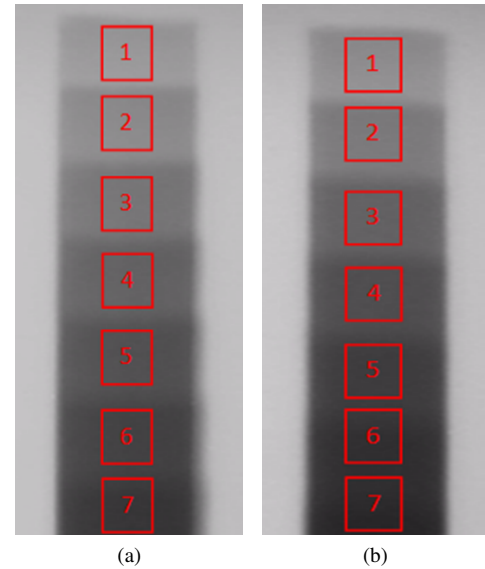


Gambar 3: Tahapan penelitian.

Gambar 4: Ilustrasi phantom obyek berbentuk *step wedge* [9].

Tahap penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3. Penelitian dimulai dengan studi literatur, tahapan berikutnya yaitu pembuatan phantom, phantom yang dibuat yaitu berbentuk *step wedge* yang terbuat dari bahan akrilik (*polymethyl methacrylate*) [11] dan plastik ABS (*acrylonitrile butadiene styrene*) [12]. *Step wedge* pada penelitian ini memiliki 8 undak dengan kenaikan ketebalan 3 mm pada tiap undaknya, dan dimensi dari *step wedge* ini adalah 24 mm × 24 mm, seperti diilustrasikan pada Gambar 4. Melalui desain ini diharapkan diperoleh citra radiografi dengan gradasi derajat keabuan. Berdasarkan derajat keabuan ini memungkinkan koefisien atenuasi linier dapat dihitung.

Proses pengambilan data menggunakan generator sinar-X dengan tegangan anode-katode 30 kV dan arus filamen 20 mA. Dalam sekali pemaparan, sistem dapat merekam 5 citra



Gambar 5: Citra mikro radiografi digital, (a) Plastik dan (b) Akrilik

TABEL I: Pengukuran intensitas terusan.

Nomor Undak	Ketebalan (mm)	Nilai rata-rata intensitas Akrilik	Plastik
1	3	143 ± 2	191 ± 2
2	6	123 ± 2	173 ± 2
3	9	99 ± 1	146 ± 2
4	12	79 ± 1	121 ± 2
5	15	64 ± 1	98 ± 1
6	18	54 ± 1	79 ± 1
7	21	43 ± 1	65 ± 1

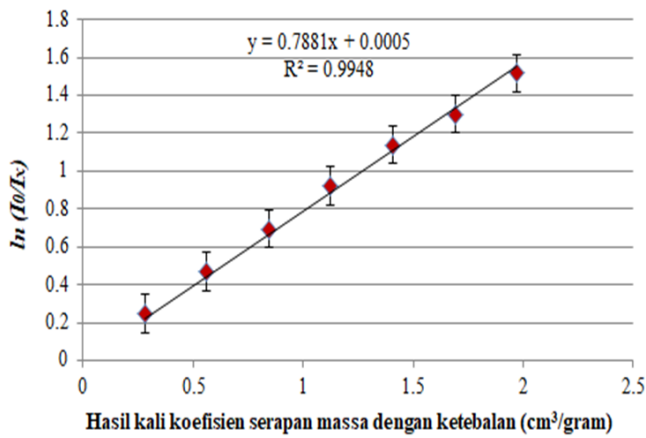
sekaligus. Citra radiografi yang diperoleh dirata-rata untuk perhitungan nilai intensitasnya. Citra radiograf digital dihitung dengan membuat area pada masing masing undak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

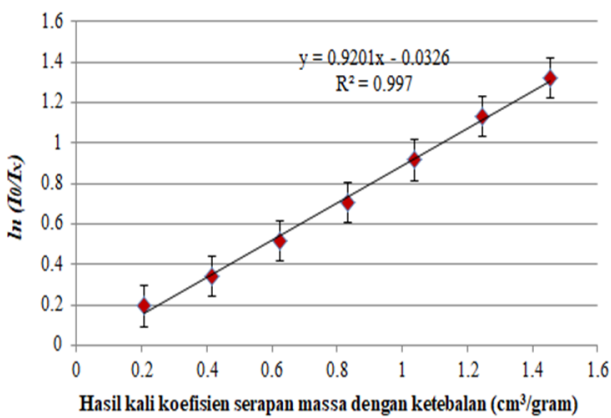
Hasil pengukuran nilai intensitas dari masing masing bahan ditampilkan ada Tabel I. Nilai $\ln(\frac{I_0}{I_x})$ dapat dihitung dengan cara mengukur nilai I_0 (intensitas sinar-X sebelum melewati bahan) dan I_x (intensitas sinar-X sesudah melewati bahan).

Perhitungan secara estimasi pesawat sinar-X yang digunakan mempunyai nilai tegangan efektif keluaran 15,77 KeV. Untuk mempermudah input pada program XCOM maka nilai tegangan efektif keluaran pesawat sinar-X dibulatkan menjadi 16 KeV. Mengacu database NISTIR 5632 dari NIST (*physical meas Laboratory*) [13] diperoleh nilai koefisien serapan massa pada energi foton 16 keV yaitu 0,9378 gram/cm² pada akrilik dan 0,6925 gram/cm² pada plastik.

Mengacu pada Persamaan (6), maka densitas dapat diper-



Gambar 6: Hubungan hasil kali koefisien serapan massa dengan ketebalan dan $\ln(\frac{I_0}{I_x})$ pada bahan akrilik.



Gambar 7: Hubungan hasil kali koefisien serapan massa dengan ketebalan dan $\ln(\frac{I_0}{I_x})$ pada bahan plastik.

oleh dari nilai gradien garis antara $\ln(\frac{I_0}{I_x})$ dan $x\mu_m$. $\ln(\frac{I_0}{I_x})$ sebagai sumbu y dan $x\mu_m$ sebagai sumbu x. Grafik hubungan antara antara $\ln(\frac{I_0}{I_x})$ dan $x\mu_m$ pada bahan akrilik dan plastik masing-masing ditampilkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Pengukuran densitas secara langsung dilakukan dengan cara menimbang bahan lalu mengukur volumenya. Densitas

diperoleh dari perbandingan massa terhadap volume. Dari pengukuran, massa akrilik adalah 1,0299 gram dan plastik 1,1110 gram. Volume dari masing-masing bahan adalah 972 mm³. Hasil nilai densitas yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel II.

TABEL II: Hasil perhitungan densitas bahan.

Bahan	Densitas pengukuran radiografi digital (g/cm ³)	Densitas dihitug langsung (g/cm ³)
Akrilik	0,79 ± 0,01	1,06 ± 0,01
Plastik	0,92 ± 0,01	1,14 ± 0,01

Dari Tabel II nilai densitas hasil pengukuran menggunakan radiografi digital lebih kecil jika dibandingkan pengukuran secara langsung. Hal ini dikarenakan bahwa pengukuran densitas menggunakan radiografi digital sangat bergantung kepada besarnya output energi sinar-X. Energi output sinar-X mempengaruhi tingkat serapan massa dari bahan. Semakin tinggi energi output sinar-X maka koefisien serapannya akan semakin kecil dan sebaliknya. Pengukuran energi sinar-X sangat menentukan besarnya serapan massa pada bahan. Hal ini akan berimbas pada hasil pengukuran densitas bahan. Pada penelitian ini besarnya energi output sinar-X merupakan hasil estimasi kemampuan pesawat sinar-X. Kemungkinan hal ini berdampak pada besarnya nilai densitas dari bahan.

IV. SIMPULAN

Dari hasil eksperimen yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa: bahan akrilik memiliki densitas 0,79 ± 0,01 dan bahan plastik memiliki densitas 0,92 ± 0,01 g/cm³. Jadi, metode ini dapat digunakan sebagai metode alternatif tidak merusak untuk menghitung densitas benda. Hasil densitas yang diperoleh jika dibandingkan dengan pengukuran densitas secara langsung diperoleh beda 34,18% pada bahan akrilik dan 23,91% pada material plastik. Oleh karenanya diperlukan kajian lebih dalam untuk meningkatkan akurasi metode ini.

[1] G. Wang and T.W. Liao, "Automatic identification of different types of welding defects in radiographic images", NDT E Int., vol. 35, no. 8, pp. 519-528, 2002.
 [2] P.F. van der Stelt, "Improved diagnosis with digital radiography", Curr. Opin. Dent., vol. 2, pp. 1-6, 1992.
 [3] A. F. Greene, C. W. Hartley, P. N. Doumani Dupuy, and M. Chinander, "The digital radiography of archaeological pottery: Program and protocols for the analysis of production", J. Archaeol. Sci., vol. 78, pp. 120-133, 2017.
 [4] J. Dudak, J. Zemlicka, F. Krejci, S. Polansky, J. Jakubek, J. Mrzilkova, M. Patzelt, and J. Trnka, "X-ray micro-CT scanner for small animal imaging based on Timepix detector technology", Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip., vol. 773, pp. 81-86, 2015.

[5] Susilo, Sunarmo, I. K. Swakarma, R. Setiawan, and E. Wibowo, "Kajian Sistem Radiografi Digital sebagai Pengganti Sistem Computed Radiography yang Mahal", J. Fis. Indones., vol. 17, no. 50, pp. 4-43, 2013.
 [6] A.L. McKnight, "Digital radiography in equine practice", Clin. Tech. Equine Pract., vol. 3, no. 4, pp. 352-360, 2005.
 [7] M. Krner, C. H. Weber, S. Wirth, K.-J. Pfeifer, M. F. Reiser, and M. Treitl, "Advances in Digital Radiography: Physical Principles and System Overview", Radio Graphics, vol. 27, no. 3, pp.

- 675-686, 2007.
- [8] J.H. Hubbell, "Review of photon interaction cross section data in the medical and biological context", *Phys. Med. Biol.*, vol. 44, no. 1, R1-22, 1999.
- [9] A. Mousa, K. Kusminarto, and G. B. Suparta, "A new simple method to measure the X-ray linear attenuation coefficients of materials using micro-digital radiography machine", *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 12, no. 21, pp. 10589-10594, 2017.
- [10] G.B. Suparta, A. C. Louk, N. H. Sam, and G. A. Wiguna, "Quality performance of customized and low cost x-ray micro-digital radiography system", *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, vol. 9234, p. 92340X, 2014.
- [11] E. Pawar, "A Review Article on Acrylic PMMA", *IOSR J. Mech. Civ. Eng.* e-ISSN, vol. 13, no. 2, pp. 1-04, 2016.
- [12] J.D. Moore, "Acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) - a review", *Composites*, vol. 4, no. 3, pp. 118-130, 1973.
- [13] J.H. Hubbell and S.M. Seltzer, "Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients, Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients from 1 keV to 20 MeV for Elements Z = 1 to 92 and 48 Additional Substances of Dosimetric Interest", 1996. [<https://www.nist.gov/publications/tables-x-ray-mass-attenuation-coefficients-and-mass-energy-absorption-coefficients-1-0>]