

PENGUKURAN KADAR KARET KERING LATEKS MENGGUNAKAN PROTOTYPE INSTRUMEN DIGITAL BERBASIS SENSOR CAHAYA

Measurement of Dry Rubber Content of Latex using Digital Instrument Prototype Based on Light Sensor

Andi Nur CAHYO*, Dina Eka PRANATA, Risal ARDIKA, Andi WIJAYA, dan Suroso RAHUTOMO
Pusat Penelitian Karet
Jalan Raya Palembang-Pangkalan Balai Km. 29, Sembawa, Banyuasin, Sumatera Selatan 30953

*Email : nurcahyo.andi@yahoo.co.uk

Diterima: April 2026/Disetujui: Juni 2026

Abstract

The determination of dry rubber content (DRC) in latex is generally carried out by gravimetry method which takes more than two hours for each sample. This analysis time is a limiting factor for the analysis of large numbers of latex samples. This study aimed to develop and evaluate the accuracy of digital instrument prototype based light sensor (LDR). The evaluation of the accuracy of the instrument was carried out by comparing the data from the standard laboratory methods (ISO 126:2005) with data from light sensor based instrument LDR GL5516. The data then was analyzed statistically to determine the values of Goodness of Match (GOM), Pearson Correlation Coefficient (R), Coefficient of Determination (R^2), and Root Mean Square Error (RMSE). The calibration results showed a close relationship between the Analog to Digital Converter (ADC) value and the DRC with the equation forming the power curve (R^2 of 0.78). Validation using separate samples showed an R^2 of 0.90, GOM of 0.95, R of 0.95, and an RMSE of 2.10 %. These results showed that this instrument is able to provide an estimated DRC with relatively high accuracy and small deviations. This shows that this

instrument has the potential to be used as a fast, portable, and practical device to speed up the determination of latex KKK in plantations and rubber factories.

Keywords : Digitalization, DRC meter, Hevea brasiliensis, precision agriculture

Abstrak

Penentuan kadar karet kering (KKK) pada lateks umumnya dilakukan dengan metode gravimetri yang memerlukan waktu lebih dari dua jam untuk setiap sampel. Lamanya waktu analisis ini menjadi faktor pembatas bagi kebutuhan analisis sampel lateks yang jumlahnya banyak. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi akurasi prototipe instrumen KKK lateks digital berbasis sensor cahaya (LDR). Evaluasi akurasi instrumen KKK lateks ini dilakukan dengan membandingkan data hasil pengukuran KKK lateks menggunakan metode laboratorium baku (ISO 126:2005) dengan instrumen berbasis sensor cahaya, yaitu LDR GL5516. Data KKK yang didapatkan dari kedua metode tersebut sebanyak 149 sampel kemudian dilakukan analisis statistika untuk menentukan nilai *Goodness of Match* (GOM), *Pearson Correlation Coefficient* (R), Koefisien Determinasi (R^2), dan *Root Mean Square Error* (RMSE). Hasil kalibrasi menunjukkan hubungan erat antara nilai *Analog to Digital Converter* (ADC) dan KKK dengan persamaan yang

membentuk kurva *power* dengan R^2 sebesar 0,78. Validasi menggunakan sampel terpisah menunjukkan nilai R^2 sebesar 0,90, GOM sebesar 0,95 R sebesar 0,95, dan RMSE sebesar 2,10%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa instrumen ini mampu memberikan estimasi KKK dengan akurasi relatif tinggi dan simpangan yang relatif kecil. Hal ini juga mengindikasikan bahwa instrumen ini berpotensi untuk digunakan sebagai perangkat cepat, portabel, dan praktis untuk mempercepat penentuan KKK lateks di perkebunan maupun pabrik karet. Kata kunci : Digitalisasi, *Hevea brasiliensis*, pertanian presisi, KKK meter

PENDAHULUAN

Salah satu parameter yang diukur dalam kegiatan lateks diagnosis adalah nilai kadar karet kering (KKK). Pengukuran nilai KKK lateks dilakukan dengan metode laboratorium berdasarkan ISO 126:2005 yang meliputi tahapan penggumpalan, pencucian, penimbangan dan pengeringan sampel lateks dalam oven sampel (International Standard, 2005). Proses ini umumnya memerlukan waktu hingga dua jam atau lebih untuk setiap sampel sehingga tergolong memakan waktu apabila diterapkan dalam skala besar. Di sisi lain, kegiatan lateks diagnosis ini biasa dilakukan dalam tahapan seleksi klon karet baru maupun penelitian penyadapan yang melibatkan jumlah sampel dalam skala besar. Oleh karena itu, diperlukan suatu instrumen pengukur nilai KKK lateks yang mampu memberikan hasil secara instan serta memiliki portabilitas yang memadai untuk digunakan langsung di lapangan.

Beberapa penelitian melaporkan penggunaan sensor elektronik untuk mendeteksi nilai KKK. Julrat et al., (2014) melaporkan hasil pengukuran KKK menggunakan frekuensi gelombang mikro. Model ini didemonstrasikan dalam sistem sensor berbiaya rendah berbasis reflektometer enam *port* yang cocok untuk aplikasi di lapangan. Untuk mengembangkan model yang akurat, sejumlah sampel (dengan nilai KKK pada rentang 28%–61%) diukur menggunakan sistem *probe* dielektrik pada berbagai frekuensi (0,5 – 33 GHz) dan suhu 10°C – 40°C.

Selain itu, Kerdongmee et al., (2014) juga melaporkan penggunaan gelombang

ultrasonik untuk mengukur KKK dalam larutan lateks. KKK dari larutan dievaluasi untuk tujuan kalibrasi dengan teknik standar seperti yang direkomendasikan dalam ISO126:2005. Eksperimen gelombang ultrasonik dilakukan pada larutan-larutan tersebut dalam tabung silindris berbagai ukuran panjang tabung. Gelombang ultrasonik menyebar melalui tabung yang sepenuhnya berisi larutan lateks. Kecepatan ultrasonik dan redaman spasial untuk berbagai nilai KKK kemudian dapat diperoleh. Hasil penelitian tersebut mengungkapkan bahwa kecepatan ultrasonik dan redaman spasial secara linier berkorelasi dengan jumlah kandungan karet kering dalam larutan lateks. Dengan menggunakan hubungan empiris antara redaman spasial dan KKK dapat memprediksi KKK dengan akurasi yang sebanding dengan teknik pengeringan.

Selain laporan mengenai penggunaan gelombang suara, juga terdapat laporan beberapa penelitian yang menggunakan sensor cahaya untuk mendeteksi KKK. Pada penelitian Cahyadi et al., (2018) digunakan alat ukur berbasis teknologi *light scattering* dengan menggunakan *microcontroller* sebagai *image processing*. Alat ini merupakan alat ukur *non destructive* dan tanpa penggunaan bahan kimia dalam proses analisisnya. Dalam proses pengembangan alat ini, metode ISO 126:2005 (*Method of Test for Natural Rubber Latex, Determination of Dry Rubber Content*) dirujuk sebagai metode pengukuran pembandingan (standar acuan) untuk memvalidasi nilai aktual sampel (International Standard, 2005). Hasil uji lapangan menunjukkan alat ini mampu mengukur KKK secara langsung dengan ketelitian di atas 90% pada rentang pengukuran KKK 15–30%.

Sejalan dengan prinsip tersebut, Wibowo et al., (2021), juga membuat prototipe dengan berdasarkan teori bahwa lateks akan menyerap intensitas cahaya secara proporsional terhadap kandungan karet di dalamnya. Hasil uji lapangan menunjukkan bahwa alat ini dapat memberikan hasil pengukuran yang akurat dengan perbandingan metode pengukuran di laboratorium. Rentang pengukuran nilai KKK yang telah diuji dengan prototipe ini adalah 15-22%, dengan rata-rata kesalahan hanya 1,56% atau akurasi sebesar 98,44%.

Dari studi pustaka mengenai penggunaan sensor cahaya dalam

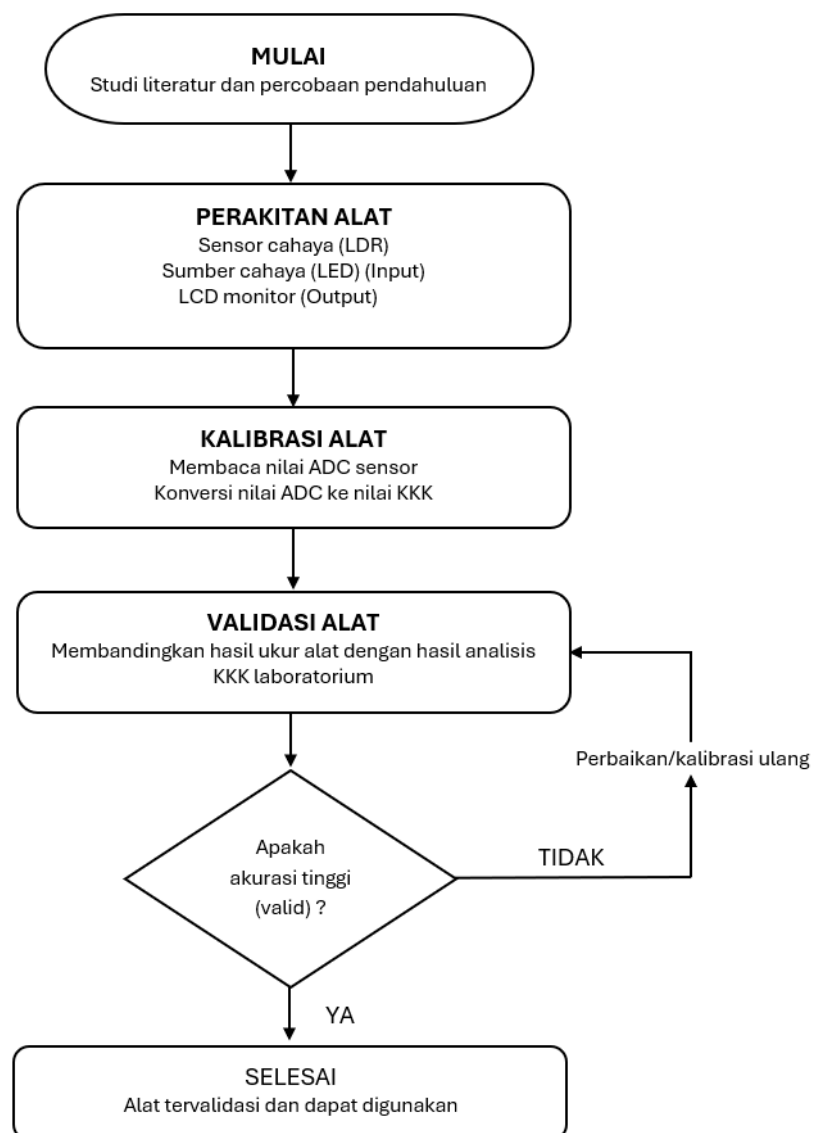
menentukan nilai KKK tersebut, terdapat hipotesis bahwa lateks yang merupakan koloid dapat meneruskan cahaya dengan proporsi yang sesuai dengan nilai KKK nya. Hal ini terjadi karena terdapat efek *Tyndall* ketika koloid lateks ditembus cahaya, dimana partikel lateks yang besar (0,24–3,6 mikron) dapat menghamburkan cahaya yang menembus koloid lateks (Maron & Elder, 1963).

Sebaliknya, air mempunyai partikel yang lebih kecil sehingga tidak terjadi penghamburan cahaya. Hal ini berakibat

semakin tinggi nilai KKK, semakin rendah jumlah cahaya yang dapat diteruskan dan sebaliknya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi akurasi prototipe instrumen KKK lateks digital berbasis sensor cahaya.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan Oktober 2024 di Pusat Penelitian Karet, Sembawa, Banyuasin, Sumatera



Gambar 1. Diagram alir prosedur penelitian
Figure 1. Research process flow diagram

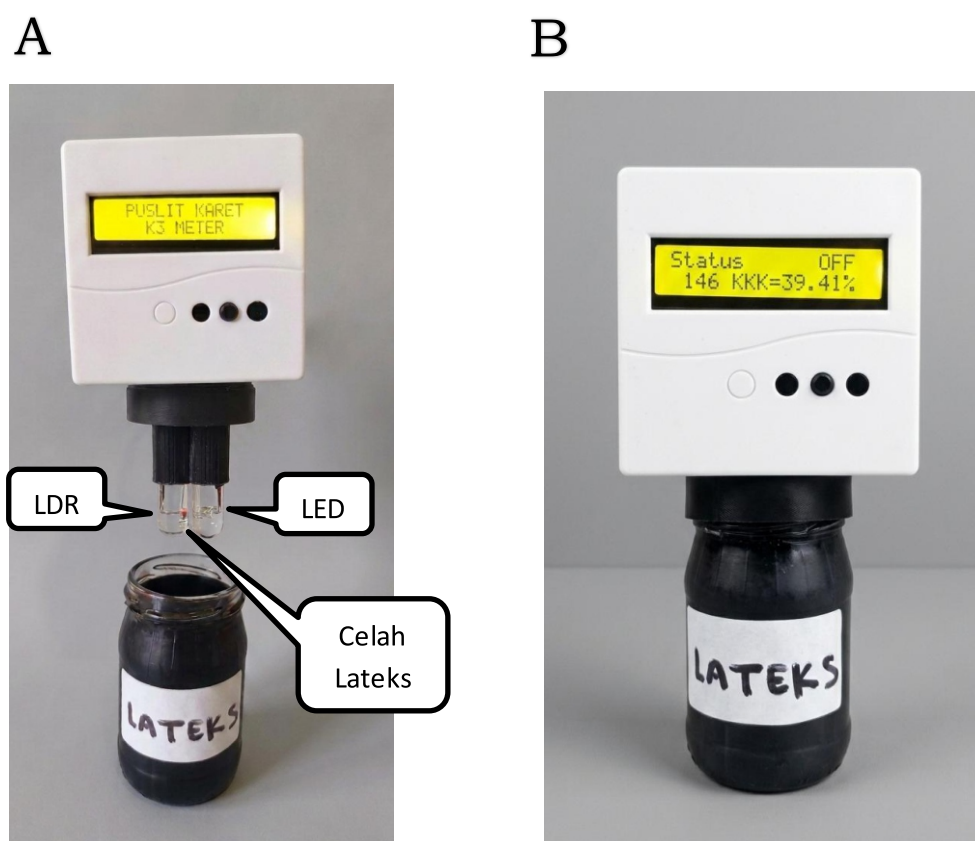
Selatan. Penelitian ini menggunakan bahan dan alat penelitian berupa lateks klon BPM 24 tahun tanam 2004, timbangan analitik, oven, serta prototipe instrumen KKK lateks digital berbasis sensor cahaya buatan Pusat Penelitian Karet (Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual Patent No. 2024/S/06575, 2024).

Alur utama penelitian ini meliputi perakitan alat, kalibrasi, dan validasi data hasil pembacaan alat (Gambar 1).

Prinsip kerja instrumen KKK digital berbasis sensor cahaya

Instrumen KKK digital berbasis optik inovasi dari Pusat Penelitian Karet dirancang bekerja dengan cara membaca penerusan

cahaya yang dilewatkan pada satu lapisan sampel lateks. Untuk membaca kuantitas cahaya yang diteruskan ini digunakan LDR (*light dependent resistor*) GL5516 dan sebagai sumber cahayanya digunakan lampu LED (*Light Emitting Diode*) 5 mm berwarna biru yang diletakkan saling berhadapan satu sama lain. Semakin tinggi nilai KKK sampel lateks, cahaya yang diteruskan akan semakin sedikit dan sebaliknya. Semakin banyak cahaya yang diteruskan, maka nilai resistansi LDR akan semakin menurun. Arus listrik dari LDR ini disalurkan menjadi input data pada pin analog mikrokontroller yang digunakan. Oleh mikrokontroller, tegangan listrik ini diubah menjadi nilai digital yang disebut nilai *analog to digital converter* (ADC) dan



Gambar 2. Experimental setup perakitar alat ukur KKK lateks pada posisi sensor belum dimasukkan ke botol sampel (A) dan setelah dimasukkan ke botol sampel untuk pengukuran KKK lateks (B)

Figure 2. Experimental setup for the DRC of latex measuring instrument assembly, with the sensor positioned before being inserted into the sample bottle (A) and after being inserted into the sample bottle for DRC of latex measurement (B)

kemudian dikonversi lagi menjadi nilai KKK lateks. Nilai ADC dan KKK lateks ini dapat ditampilkan di layar LCD yang dipasangkan dengan mikrokontroller ESP8266. Experimental setup penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.

Metode penelitian

Untuk menggunakan prototipe instrumen KKK lateks berbasis sensor cahaya ini, sampel lateks yang digunakan harus dipastikan belum terjadi proses penggumpalan dan bebas dari gelembung udara. Sebanyak 120 mL sampel lateks dimasukkan ke dalam botol lateks yang tidak tembus cahaya (berwarna hitam). Pengukuran KKK lateks dengan instrumen ini harus dilakukan di tempat yang tidak terpapar sinar matahari langsung. Pada penelitian ini, kegiatan kalibrasi dan validasi alat dilakukan dalam ruang dengan intensitas cahaya sebesar $1,89 (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$, yang diamati dengan alat Li-Cor Li-189 (LI-COR, Inc., 1990). Selain itu, untuk mendapatkan nilai KKK, terlebih dahulu prototipe instrumen disambungkan ke sumber listrik DC (5V, 2 A). Setelah itu, sensor pada instrumen dimasukkan ke dalam sampel lateks dalam botol hitam agar sampel tidak terkena paparan matahari secara langsung. Hasil pengukuran lateks yang berupa nilai ADC dan KKK dapat dibaca pada layar LCD monitor secara langsung.

Dalam penelitian ini, dilakukan kalibrasi alat untuk menentukan rumus konversi nilai ADC menjadi nilai KKK lateks, serta validasi instrumen untuk mengetahui akurasi dibandingkan hasil pengukuran

KKK lateks melalui analisis laboratorium baku. Dalam kegiatan kalibrasi digunakan sebanyak 97 sampel lateks kebun dengan berbagai variasi nilai KKK, sedangkan dalam kegiatan validasi digunakan sebanyak 52 sampel lateks kebun dengan berbagai variasi nilai KKK. Variasi KKK tersebut dibuat dengan mengencerkan lateks murni dengan air menjadi 100% (tanpa pengenceran), 75%, 50%, dan 25% dari nilai KKK semula (KKK lateks murni dari pohon). Sampel lateks yang digunakan tidak dicampur dengan amonia sebagai pengawet. Untuk melakukan kalibrasi alat, dibuat sebuah grafik sebaran data antara nilai ADC dan nilai KKK lateks berdasarkan hasil analisis laboratorium. Dari grafik ini, dapat ditentukan rumus untuk mengkonversi nilai ADC menjadi nilai KKK lateks.

Dalam proses validasi, dilakukan perbandingan hasil pengukuran KKK berdasarkan metode laboratorium baku (ISO 126:2005) dan dengan menggunakan prototipe instrumen KKK digital berbasis sensor cahaya. Dalam validasi ini, perbandingan antara nilai KKK lateks berdasarkan hasil pembacaan alat dengan nilai KKK lateks hasil analisis laboratorium baku dilakukan dengan menghitung nilai *Pearson Correlation Coefficient* (R), *Coefficient of Determination* (R^2), *Goodness-of-Match* (GOM) –Lippe et al., 2007; Michalczyk, 2008(Figueiredo et al., 2011; ; Montgomery et al, 2012), dan *Root Mean Square Error* (RMSE) –(Hodson, 2022; Khasanah, Wijaya, June, Lusiana, & Van Noordwijk, 2008; Loague & Green, 1991) untuk mengetahui tingkat akurasi alat tersebut. Nilai GOM, R, R^2 , dan RMSE tersebut dapat dihitung

$$GOM_{total} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \right) \dots\dots\dots(1)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \dots\dots\dots(2)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \dots\dots\dots(3)$$

$$RMSE = \left[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2 / n \right]^{0.5} \dots\dots\dots(4)$$

di mana,

GOM_{total} = *Goodness of match total*.

R = *Pearson correlation coefficient*

R^2	= Coefficient of Determination
RMSE	= Root mean square Error
P_i	= KKK hasil pembacaan KKK meter,
O_i	= KKK hasil analisis lab,
n	= Jumlah sampel,
$\bar{P}$	= rerata KKK hasil pembacaan KKK meter,
$\bar{O}$	= rerata KKK hasil analisis lab.

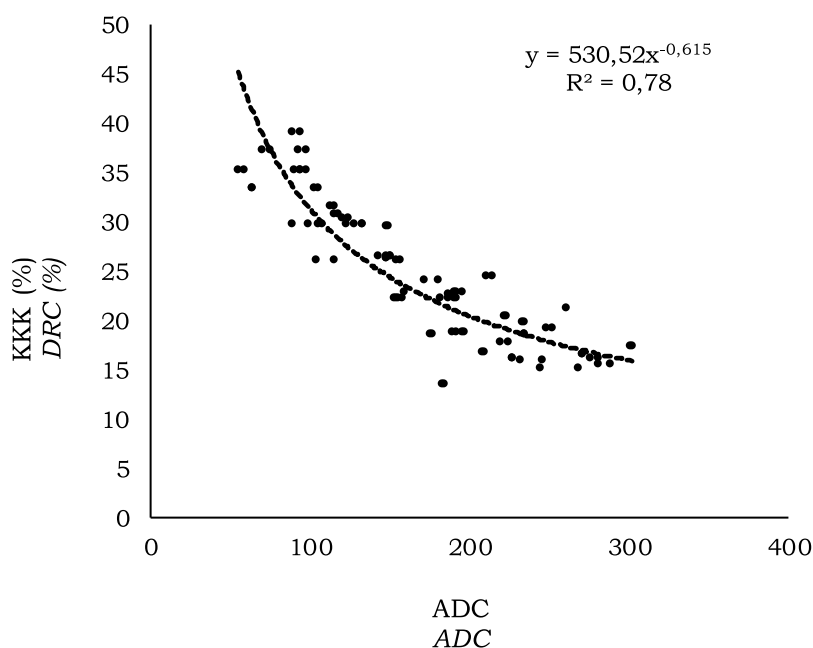
melalui Persamaan 1, 2, 3, dan 4 berturut-turut. Nilai GOM_{Total} , R dan R^2 menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi apabila mendekati angka 1, sedangkan nilai RMSE menunjukkan akurasi yang tinggi apabila nilainya mendekati angka 0 (Hodson, 2022; Khasanah et al., 2008).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, dilakukan pengamatan terhadap hubungan antara

nilai ADC dengan KKK lateks hasil analisis laboratorium. Selain itu juga dilakukan pengamatan perbandingan nilai KKK hasil analisis laboratorium baku dan nilai KKK hasil pembacaan alat (hasil konversi dari nilai ADC). Hasil pengamatan hubungan antara nilai ADC dan KKK lateks hasil analisis laboratorium disajikan pada Gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang erat antara nilai ADC dengan nilai KKK hasil analisis



Gambar 3. Grafik hubungan antara nilai ADC dan KKK (%) hasil analisis laboratorium baku.

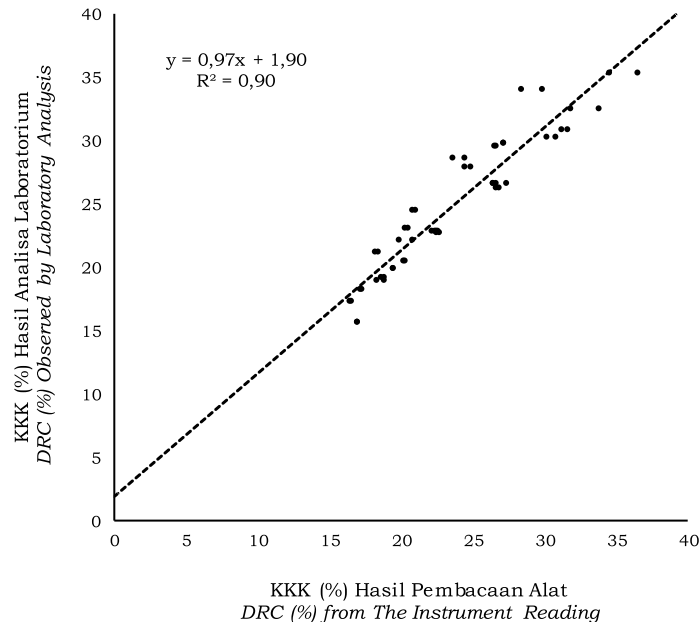
Figure 3. Curve of the relationship between ADC and DRC values (%) of standard laboratory analysis results.

laboratorium baku ($R^2 = 0,78$). Hubungan dari kedua parameter tersebut membentuk suatu kurva dengan pola *Power*, hal ini berkaitan dengan kurva nilai resistansi listrik LDR yang memang tidak linear, tapi membentuk suatu kurva melengkung. Semakin tinggi nilai ADC yang dihasilkan oleh sensor, semakin rendah nilai KKK lateksnya. Penurunan nilai KKK seiring kenaikan nilai ADC tersebut mengikuti pola garis lengkung seperti yang terlihat pada Gambar 3. Hubungan berbanding terbalik antara nilai ADC dan kadar KKK disebabkan oleh karakteristik sampel. Semakin rendah nilai KKK, semakin rendah pula kerapatan partikel karet dalam lateks (sampel lebih encer), sehingga intensitas cahaya yang diteruskan (*transmittance*) meningkat sesuai dengan Hukum Beer-Lambert (Skoog et al., 2017). Hukum ini menjelaskan melemahnya intensitas cahaya saat melewati medium yang menyerap cahaya. Intensitas cahaya yang keluar dari medium bergantung pada konsentrasi zat penyerap dan ketebalan lapisan medium tersebut. Peningkatan nilai intensitas cahaya yang mengenai permukaan LDR menyebabkan penurunan

nilai resistensi, yang kemudian dikonversi menjadi kenaikan nilai voltase atau tegangan analog. Tegangan ini diproses oleh unit *Analog to Digital Converter (ADC)* pada mikrokontroler menjadi nilai digital yang linier dengan perubahan voltase tersebut. Oleh karena itu, semakin rendah nilai KKK lateks, nilai ADC yang dihasilkan akan menjadi semakin tinggi. Hubungan tersebut membentuk suatu formula untuk mengkonversi nilai ADC menjadi nilai KKK lateks yaitu $y = 530,52x^{-0,61}$, di mana y adalah KKK lateks (%) dan x adalah nilai ADC. Rumus konversi nilai ADC menjadi nilai KKK lateks (%) tersebut dapat digunakan untuk lateks klon BPM 24 yang berwarna putih sesuai dengan sampel yang digunakan.

Dengan menggunakan rumus konversi nilai ADC menjadi nilai KKK (%) tersebut, dilakukan validasi terhadap sampel lateks dengan klon dan tahun tanam yang sama (BPM 24 tahun tanam 2004). Hasil validasi tersebut tersaji pada Gambar 4.

Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai KKK hasil pembacaan instrumen telah mendekati dan sangat erat hubungannya



Gambar 4. Grafik 1:1 hubungan antara nilai KKK (%) hasil pembacaan prototipe instrumen dan nilai KKK (%) hasil analisis laboratorium baku

Figure 4. 1:1 curve of the relationship between the KKK value (%) from the instrument reading and the DRC value (%) from the standard laboratory analysis

dengan nilai KKK hasil analisis laboratorium baku dengan nilai $R^2 = 0,90$. Selain nilai koefisien determinasi (R^2), juga dilakukan perhitungan terhadap nilai *goodness of match* (GOM), *Pearson correlation coefficient*

(R), dan *root mean square error* (RMSE). Hasil perhitungan tersebut disajikan pada Tabel 1.

Dari hasil perhitungan tersebut, terlihat bahwa semua parameter menunjukkan bahwa instrumen KKK digital

Tabel 1. Hasil perhitungan nilai GOM (*goodness of match*), R (*Pearson correlation coefficient*), R^2 (*coefficient of determination*) dan RMSE (*root mean square error*) (%).

Table 1. Results of calculating the GOM (*goodness of match*), R (*Pearson correlation coefficient*), R^2 (*coefficient of determination*) and RMSE (*root mean square error*) values (%).

Klon Clone	GOM GOM	R R	R^2 R^2	RMSE (%) RMSE (%)
BPM 24	0,95	0,95	0,90	2,10

buatan Pusat Penelitian Karet ini mempunyai akurasi yang tinggi karena nilai GOM, R , dan R^2 mendekati 1, sedangkan nilai RMSE mendekati 0 (Hodson, 2022; Khasanah et al., 2008). *Pearson correlation coefficient* dan *the goodness of match* mendeskripsikan seberapa baik akurasi dan seberapa kuat korelasi antara nilai hasil pengukuran dengan prototipe instrumen KKK dibandingkan dengan nilai KKK sebenarnya, sedangkan *root mean square error* mendeskripsikan seberapa besar simpangan dari kedua data yang dibandingkan. Dari nilai RMSE tersebut, menunjukkan bahwa alat tersebut masih mempunyai simpangan sebesar sekitar 2,10 %. Simpangan ini sudah cukup kecil apabila dibandingkan dengan simpangan alat ukur KKK dengan prinsip *hydrometry* yang dapat mencapai 5% (Hanifarianty, 2021).

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian ini, telah dirakit prototipe instrumen digital untuk pengukuran KKK lateks berbasis sensor cahaya yang portable, praktis, dan instan hasilnya. Dari hasil kalibrasi, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan erat antara nilai ADC (*Analog to Digital Converter*) dan KKK hasil metode baku laboratorium dengan persamaan yang membentuk kurva Power ($R^2 = 0,78$). Selain itu, hasil dari validasi instrumen, didapatkan nilai R^2 sebesar 0,90, GOM sebesar 0,95, R sebesar 0,95, serta RMSE sebesar 2,10%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa instrumen ini mampu memberikan estimasi KKK dengan akurasi relatif tinggi dan simpangan yang

relatif kecil. Hal ini juga mengindikasikan bahwa instrumen ini berpotensi untuk digunakan sebagai perangkat cepat, portabel, dan praktis untuk mempercepat penentuan KKK lateks di perkebunan maupun pabrik karet.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2002). SNI 06-2047-2002 (Bahan Olah Karet).
- Cahyadi, D., Kurniawan, M. A., Damanik, I. A., Fatkhurrahman, J. A., Juliasari, I. R., & Khairi, A. J. (2018). RANCANG BANGUN ALAT UKUR KADAR KARET KERING PADA LATEKS BERBASIS TEKNOLOGI LIGHT SCATTERING. *Metal Indonesia*, 40(2), 55. <https://doi.org/10.32423/jmi.2018.v40.14-21>
- Cahyo, A. N., Pranata, D. E., Ardika, R., Wijaya, A., & Rahutomo, S. (2024). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual Pengumuman Paten No. 2024/S/06575.
- Figueiredo, D., Júnior, J., & Rocha, E. (2011). What is R^2 all about? *Leviathan – Cadernos de Pesquisa Política*, (3), 60–68. <https://doi.org/10.11606/issn.2237-4485.lev.2011.132282>
- Hanifarianty, S. (2021). Pengujian Kadar Karet Kering dengan Metode Hidrometri. *Warta Perkaretan*, 40(1), 53–58.
- Hodson, T. O. (2022). Root-mean-square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): When to use them or not. *Geoscientific Model Development*,

- 1 5 (1 4) , 5 4 8 1 – 5 4 8 7 .
<https://doi.org/10.5194/gmd-15-5481-2022>
- International Standard. (2005). ISO 126 (Natural Rubber Latex Concentrate - Determination of Dry Rubber Content). www.iso.org
- Julrat, S., Chongcheawchamnan, M., & Robertson, I. D. (2014). Characterisation of the dielectric properties of rubber latex from 0.5 to 33 GHz. *Biosystems Engineering*, 125, 1 – 8 .
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.06.013>
- Kerdtongmee, P., Pumdaung, C., & Danworaphong, S. (2014). Quantifying Dry Rubber Content in Latex Solution Using an Ultrasonic Pulse. *Measurement Science Review*, 14 (5) , 252 – 256 .
<https://doi.org/10.2478/msr-2014-0034>
- Khasanah, N., Wijaya, T., June, T., Lusiana, B., & Van Noordwijk, M. (2008). Growth of Rubber (*Hevea brasiliensis*) in Monoculture and Mixed Systems with Acacia (*Acacia mangium*) A Case Study in Sembawa, South Sumatra: II. Simulation Using WaNuLCAS Model. *Indonesian Journal of Natural Rubber Research*, 26(1), 49–64.
- Lippe, M., Dung, N. V., Vien, T. D., Kien, T. T., Hilger, T., & Cadisch, G. (2007). WaNuLCAS Modelling of Improved Swidden Agriculture Systems by Indigenous Fallow Management with *Melia azedarach* in the Uplands of Ban Tat, Northern Viet Nam. *Proceedings of International Agricultural Research for Development Conference*, 1. Germany: University of Kassel-Witzenhausen and University of Göttingen.
- LI-COR, Inc. (1990). LI-189 Quantum/Radiometer/Photometer Operating Manual.
- Loague, K., & Green, R. E. (1991). Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. *Journal of Contaminant Hydrology*, 7(1-2), 51 – 73 .
[https://doi.org/10.1016/0169-7722\(91\)90038-3](https://doi.org/10.1016/0169-7722(91)90038-3)
- Loague, K., & Green, R. E. (1991). Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. *Journal of Contaminant Hydrology*, 7(1-2), 51 – 73 .
[https://doi.org/10.1016/0169-7722\(91\)90038-3](https://doi.org/10.1016/0169-7722(91)90038-3)
- Maron, S. H., & Elder, M. E. (1963). DETERMINATION OF LATEX PARTICLE SIZE BY LIGHT SCATTERING. II. HIGHER ORDER TYNDALL SPECTRA. *JOURNAL OF COLLOID SCIENCE*, 18, 199–207.
- Michalczyk, A. (2008). Parameterisation and Modelling of Growth and Yield Development of Mango (*Mangifera indica* L.) in North Thailand with Application of the WaNuLCAS Model. Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis* (5th ed.). Wiley
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2017). *Principles of Instrumental Analysis*. Cengage Learning.
<https://books.google.co.id/books?id=D13EDQAAQBAJ>
- Wibowo, A., Mustangin, M., Safi'i, A., & Pratiwi, D. I. (2021). A Rapid Dry Rubber Content Measurement Device Based on Photoelectric Sensors. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 662 (1) , 012028 .
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/662/1/012028>

