

PENGEMBANGAN SENSOR KAPASITIF PELAT SILINDER UNTUK MENGUKUR TINGKAT KELEMBABAN GABAH PADI

LAZUARDI UMAR[‡], RAHMONDIA N. SETIADI, YANUAR HAMZAH, USMAN MALIK

*Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. Prof. Muchtar Lutfi Sp. Baru Pekanbaru 28293, Riau*

Abstrak. Penelitian ini telah mengembangkan detektor sederhana untuk mengukur tingkat kelembaban gabah padi (*moisture content, mc*) berdasarkan prinsip kapasitif. Perubahan nilai kapasitansi akibat kelembaban gabah dievaluasi mempergunakan rangkaian osilator IC 7414 Hex Schmitt Inverter yang dikombinasi dengan rangkaian pengunci fasa (*phase locked loop, PLL*) IC 4046 dengan frekuensi internal sebesar ~250KHz dibentuk oleh C_{ext} 22pF, serta berfungsi dalam mengubah selisih fasa menjadi tegangan keluaran. Tiga jenis varietas gabah telah diuji yaitu gabah Anak Daro, BB 42, dan Sokan dengan nilai kelembaban awal sebesar 17% sampai dengan 27%. Kurva karakteristik alat telah dimodelkan dengan persamaan polinom orde dua dengan tingkat kecocokan hasil estimasi R^2 sebesar 0,97; 0,94 dan 0,93 untuk gabah Anak Daro, BB42 dan Sokan. Nilai tegangan keluaran osilator paling besar dimiliki oleh varietas Sokan sebesar 1887,8 mV dengan tingkat kelembaban 12,36% dan tegangan paling kecil diperoleh dari varietas BB 42 sebesar 1383,4 mV pada tingkat kelembaban 18,10%.

Kata kunci: sensor kapasitif, kelembaban gabah, rangkaian osilator, pengunci fasa

Abstract. This research presents a simple detector to measure the moisture content (*mc*) of the rice grain based on the capacitive principle. Changes in capacitance values due to moisture grain were assessed using a RC oscillator based on IC 7414 Hex Schmitt Inverter in combination with the phase locked loop circuit (PLL) IC 4046 resulted an internal frequency of ~ 250 kHz, set by C_{ext} 22pF. This circuit converts also the phase difference between RC and PLL oscillator into an output voltage. Three varieties of rice grain have been tested; rice grain Anak Daro, BB 42, and Sokan with initial moisture content from 17% up to 27%. Second order polynomial has been used to fit the rice grain data and resulted good approximation with R^2 of 0.97; 0.94 and 0.93 for the Anak Daro, BB42 and Sokan respectively. The results shown a maximum voltage of 1887.8 mV with 12.36% *mc* for Sokan and the minimum was obtained for BB 42 variety with voltage of 1383.4 mV at 18.10% *mc*.

Keywords: capacitive sensor, moisture content, rice grain, RC oscillator, polynomial

1. Pendahuluan

Pengukuran tingkat kelembaban gabah (*moisture content, mc*) sangat penting untuk penyimpanan beras. Kadar kelembaban yang terdapat pada butiran beras akan mempengaruhi kualitas dari produk akhir. Pengendalian kualitas sangat penting dalam industri makanan karena setelah panen, kualitas produk makanan diklasifikasikan dan dinilai ke dalam kelas yang berbeda. Evaluasi kualitas biji padi umumnya dilakukan secara manual yang memakan waktu dan biaya mahal serta memberikan hasil yang berbeda [1, 2].

Bahan pangan gabah diketahui bersifat mudah rusak karena memiliki kadar air (kelembaban) yang terkandung pada setiap butiran gabah. Kadar kelembaban sangat tergantung pada jenis gabah sesuai dengan habitat pembibitannya. Pengawetan gabah diperlukan untuk menjaga gabah tetap dalam kondisi terbaik dan meningkatkan daya tahan dengan kadar air yang sesuai. Proses pengawetan juga bertujuan menghindari pembusukan selama penyimpanan dan pengiriman yang disebabkan oleh jamur dan bakteri, yang hidup pada lingkungan lembab [3]. Penanganan tahap pasca panen gabah

[‡] email: lazuardi.umar@gmail.com

memiliki peranan penting dalam penyediaan bahan pangan seperti untuk memperpanjang umur simpan dan mempertahankan kualitas, kuantitas serta mencegah kerusakan fisik. Gabah yang disimpan akan mengalami penguapan dan oksidasi sehingga pada kondisi aerobik terjadi fermentasi sedangkan pada kondisi anaerobik gabah yang lembab akan menjadi kecambah [4]. Tingkat kandungan air atau kelembaban gabah (*moisture content, mc*) menentukan kualitas gabah, jika gabah terlalu lembab dapat mengalami penggumpalan, pembusukan dan kerusakan. Tingkat kelembaban merupakan konsentrasi uap air pada bahan yang merupakan ukuran banyaknya air yang terkandung dalam suatu bahan [5].

Berbagai metode pengujian *mc* sampel biji-bijian dan produk pertanian telah dikembangkan seperti metode radiasi inframerah, radiasi gelombang mikro, radiasi refraktometri, magnetis, prinsip spektroskopi dan pengukuran dielektrik [6]. Pada metode radiasi inframerah sampel dikeringkan menggunakan radiasi inframerah sehingga energi diserap oleh sampel [7]. Deteksi dengan metode radiasi menggunakan gelombang mikro digunakan karena cepat dan dapat mengukur kelembaban dalam jumlah besar. Kadar *mc* ditentukan dengan mengukur massa sebelum dan sesudah pengeringan [8]. Metode optis menentukan kadar *mc* produk pertanian dengan refraktometri menggunakan prinsip pengukuran optis. Parameter yang diukur adalah nilai indeks refraksi dari suatu produk pertanian seperti biji-bijian, minyak, sirup atau cairan lainnya, yang menggambarkan sifat alami dari produk tersebut. Tiap-tiap senyawa kimia memiliki indeks refraksi sehingga pengukuran ini dapat dipergunakan untuk identifikasi kualitatif suatu senyawa [9]. Tsukada dan Kiwa [10] telah mengembangkan teknik magnetisasi untuk mengukur kelembaban butiran padi dimana pengamatan medan magnet sekunder dilakukan dari butiran padi yang terpapar medan magnetik bolak balik berfrekuensi rendah. Sementara Mizukami [11] mempergunakan prinsip spektroskopi impedansi untuk mengamati tingkat kelembaban daun teh dimana hubungan antara sifat-sifat listrik dan tingkat kelembaban daun diteliti pada frekuensi mulai dari 10 Hz to 10 MHz. Metode lainnya adalah dengan menentukan *mc* gabah menggunakan prinsip kapasitif berdasarkan pengukuran sifat dielektrik. Ketika gabah digunakan sebagai bahan dielektrik, maka nilai konstanta dielektrik gabah ditentukan oleh kondisi gabah mengandung air atau tidak. Jafari [12] telah mengembangkan sensor mikrostrip untuk menentukan tingkat kelembaban gabah padi dimana nilai kelembaban diprediksi dari sifat-sifat dielektrik berdasarkan model dielektrik.

Pada penelitian ini telah dikembangkan sensor kapasitif sederhana berbentuk silinder untuk mengukur tingkat *mc* gabah berdasarkan pengukuran kapasitansi menggunakan osilator RC pada gabah tanpa harus mengupas dan membersihkannya (*non destructive*). Metode deteksi berdasarkan prinsip kapasitif ini memungkinkan pembuatan sensor berbiaya rendah, tahan pada aplikasinya dengan tingkat reproduksibelnya yang cukup baik. Hasil pengukuran kemudian dimodelkan untuk menentukan kurva karakteristik masing-masing gabah.

2. Metode Penelitian

2.1. Prinsip Pengukuran Kelembaban Gabah

Butiran-butiran gabah memiliki karakteristik bentuk yang beragam, secara umum sub spesies padi yang ditanam di dunia dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu *japonica*, *javanica*, dan *indica*. Padi jenis *japonica* memiliki bentuk butiran gabah pendek membulat, sedangkan padi jenis *indica* memiliki bentuk butiran bulat memanjang. Di Indonesia, jenis padi yang banyak ditanam yaitu padi jenis *indica*. Varietas gabah yang diuji pada penelitian ini terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Gabah yang diuji pada yaitu a. Anak Daro, b. BB42 dan c. Sokan

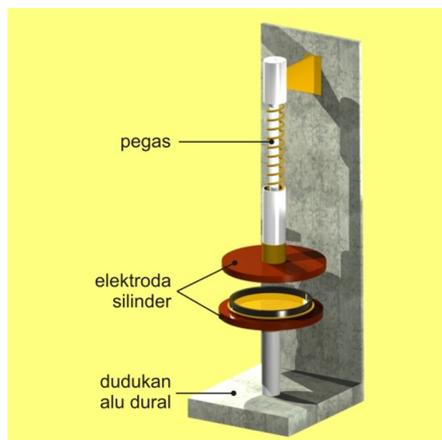
Tingkat kelembaban awal gabah segar pasca panen diperoleh dengan cara mengeringkan gabah hingga sampel mengalami pengurangan massa akibat pemanasan tanpa adanya pemaparan dari lingkungan sekitar. Sebelum gabah disiapkan sebagai sampel, wadah gabah (cawan dan tutup) dari bahan porselen dipanaskan terlebih dahulu menggunakan oven dengan suhu 130°C selama 1 jam, kemudian didinginkan dalam desikator. Sampel gabah yang diuji diambil mempergunakan spatula, kemudian dihancurkan dengan penggilingan mempergunakan grinder dan ditimbang masanya (M_1) mempergunakan timbangan analitik Camry EHA401 sebelum pemanasan. Kemudian sampel dikeringkan dengan oven Oven Heraus T6060 pada suhu 121°C selama 2 jam. Setelah pemanasan, sampel dan wadahnya dinginkan kembali di dalam desikator selama 30 menit dan ditimbang kembali masanya (M_2). Nilai kelembaban gabah dinyatakan dalam persentase:

$$\text{Nilai kelembaban gabah } mc = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\% \quad (1)$$

dimana M_1 menyatakan berat masa sampel dalam gram sebelum dipanaskan dan M_2 adalah berat masa sampel dalam gram setelah dipanaskan.

2.2. Sensor Kapasitif Pelat Silinder

Bentuk dudukan dan elektroda sensor kapasitif dibuat utamanya dari bahan aluminium dural yang telah dibubut dan digunakan dalam keadaan tegak. Adapun rancangan dudukannya diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Dudukan dan sensor kapasitif pelat silinder untuk mengukur tingkat kelembaban gabah

Deteksi dielektrisitas gabah yang berhubungan dengan kelembabannya dilakukan pada dua kepingan elektroda terbuat dari kuningan dengan diameter 100 mm yang dilekatkan pada silinder pertinaks sebagai isolator. Untuk menjaga agar sampel tidak keluar dan tetap berada pada kepingan elektroda selama pengukuran maka dibuat cincin (*spacer*) yang terbuat dari bahan Polyvinyl chloride (PVC) dengan diameter bagian dalam 90 mm dan tebal 5 mm. Pada bagian atas dudukan diberikan pegas agar kepingan elektroda dapat digerakkan ke atas dan ke bawah sehingga sampel gabah dapat dimasukkan dan dikeluarkan dari elektroda. Nilai kapasitansi C_0 kapasitor keping sejajar ini (dalam Farad) adalah:

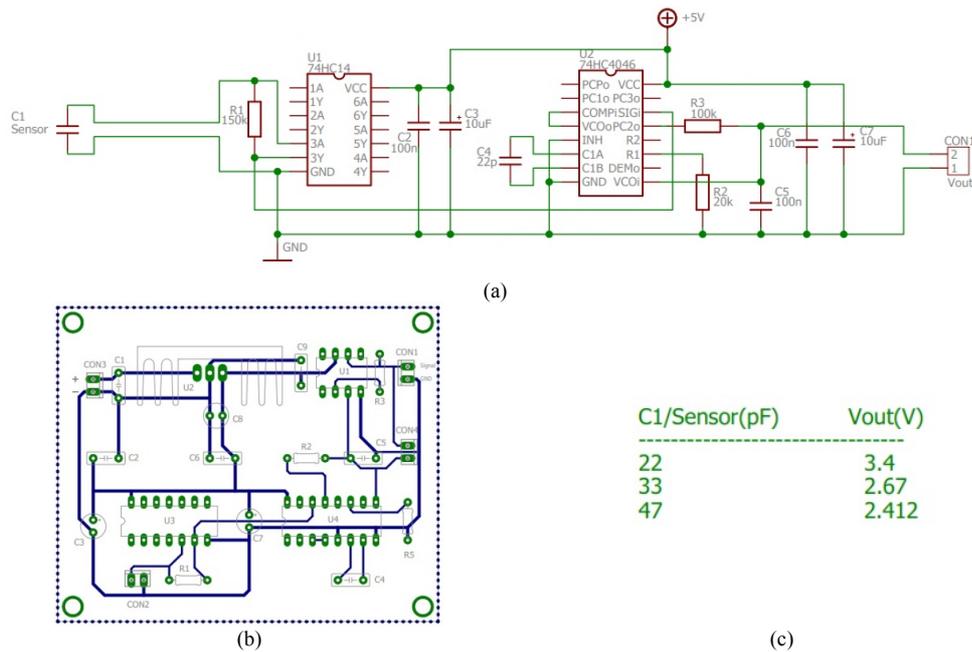
$$C_0 = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{d} \quad (2)$$

dimana ϵ_r merupakan konstanta dielektrik dari sampel gabah, ϵ_0 permitivitas ruang bebas ($8,85 \times 10^{-12}$ F/m), A luas penampang keping sejajar (m^2) dan d jarak antar keping (m). Pengukuran mempergunakan LCR Meter D-LIN 4070D memberikan nilai kapasitansi yang relatif kecil yaitu berkisar $C_0 \sim 22$ pF, yang menjadi pedoman dalam membuat rangkaian osilator untuk mengevaluasi nilai kapasitansi yang berhubungan dengan kelembaban gabah.

2.3 Rangkaian Osilator RC dan Pengunci Fasa (PLL)

Tingkat kelembaban gabah padi mempengaruhi nilai kapasitansi sensor kapasitif dan dievaluasi mempergunakan rangkaian osilator RC yang mengubah nilai kapasitansi C_{sensor} menjadi frekuensi osilasi. Osilator RC dibentuk mempergunakan gerbang hex inverter Schmitt-trigger dari IC digital 74C14 dengan komponen R dan C sensor berfungsi sebagai rangkaian penala. Besarnya frekuensi osilasi ditentukan berdasarkan persamaan yang memberikan nilai f_0 sebesar 250 KHz pada kondisi tanpa adanya gabah padi. Nilai frekuensi ini akan berubah akibat adanya gabah padi ditengah-tengah elektroda sensor yang bersifat sebagai dielektrik seperti diperlihatkan pada persamaan (2).

Output osilator RC kemudian diteruskan ke suatu rangkaian pengunci fasa (*Phase Locked Loop*, PLL) dari IC tipe 4046, yang memiliki dua pembanding fasa, satu bagian *source follower* dan satu osilator terkontrol tegangan (*voltage controlled oscillator*, VCO). Rangkaian PLL umumnya dipergunakan secara luas untuk pembangkitan *clock* dalam system digital modern sebagai pensintesa frekuensi (*synthesizable PLLs*) dengan keluaran frekuensi yang relatif stabil [13, 14]. Pada penelitian ini, rangkaian pengunci fasa dipergunakan untuk mengubah frekuensi menjadi tegangan dan untuk menjaga kestabilan pengukuran. Fasa frekuensi osilator R_C , f_0 , kemudian dibandingkan terhadap frekuensi referensi, f_{ref} , dari osilator internal IC4046 yang ditentukan mempergunakan komponen C_{ext} . Perbedaan fasa ini kemudian diubah menjadi tegangan keluaran. Adapun bentuk rangkaian elektronik pengolah isyarat sensor kapasitif untuk mengukur kelembaban gabah padi diberikan pada Gambar 3.



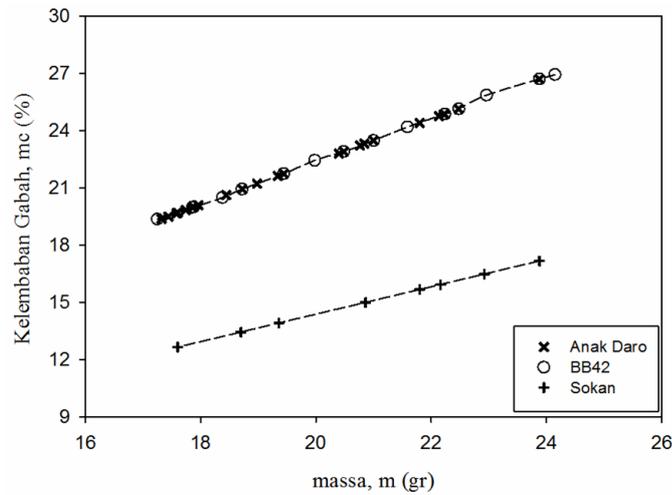
Gambar 3. Evaluasi nilai kapasitansi mempergunakan osilator RC dan rangkaian komparator (a), (b) *lay out* PCB dan (c) Nilai kapasitansi C. Sensor mempengaruhi nilai tegangan keluaran dari rangkaian (tabel)

Data diukur mempergunakan Osiloskop DSO-2150 USB dan kemudian diolah dengan komputer menggunakan perangkat lunak *Sigma Plot* serta *Table Curve* untuk mendapatkan persamaan matematis tingkat kelembaban gabah.

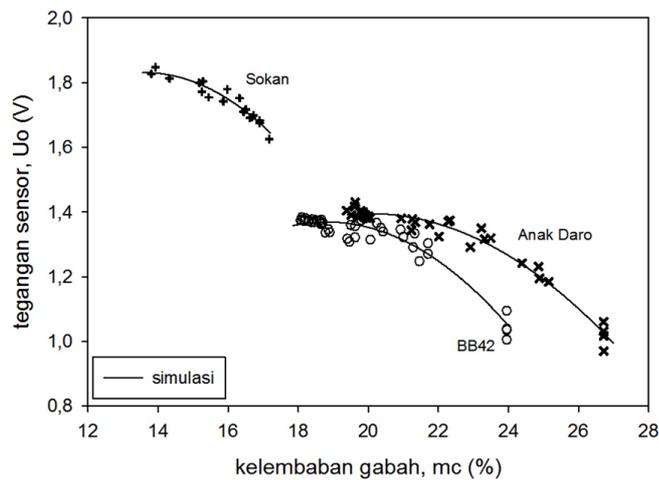
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bentuk dan ukuran gabah menentukan perbedaan tingkat kelembaban gabah pasca panen, disamping faktor cuaca pada saat panen. Berdasarkan bentuk, gabah Anak Daro lebih bulat dan Sokan lebih runcing dibandingkan yang lain. Sementara warna gabah BB 42 lebih gelap dibandingkan dengan Sokan yang lebih cerah.

Pada eksperimen, tiap-tiap gabah dibagi menjadi dua kelompok yaitu kelompok kontrol dan kelompok perlakuan, masing-masing gabah diambil masanya sebesar 23,88gr. Gabah kelompok kontrol dikeringkan selama 10 jam pada suhu 121°C sehingga diperoleh tingkat kelembaban Anak Daro sebesar 26,72%, BB42 sebesar 23,95% dan Sokan memiliki nilai 17,17%. Nilai ini menjadi acuan tertinggi untuk ketiga sampel kelompok perlakuan. Sementara pada kelompok perlakuan, sampel dikeringkan dengan oven sehingga mengalami pengurangan massa akibat pemanasan tanpa adanya pemaparan dari lingkungan sekitar. Perhitungan kelembaban mempergunakan persamaan (1) dengan berpatokan pada nilai kelompok kontrol. Masing-masing pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali. Gambar 4 memperlihatkan grafik tingkat kelembaban gabah sebagai fungsi massa gabah.



Gambar 4. Kurva kalibrasi penentuan tingkat mc berdasarkan masa gabah



Gambar 5. Kurva karakteristik alat telah dimodelkan dengan persamaan polinom

Gambar 5 memperlihatkan respon sensor kapasitif terhadap besarnya variasi tingkat mc masing-masing gabah. Pengukuran tiap-tiap gabah dilakukan dalam keadaan utuh dan memiliki kulit sehingga bentuk gabah dan kemampuan kulit dalam menyimpan air akan mempengaruhi nilai dielektrisitas serta kapasitansi yang diukur.

Data kelembaban masing-masing gabah pada Gambar 5 kemudian *difitting* dengan perangkat lunak *Sigma Plot* dan *Table Curve* mempergunakan persamaan polynomial kuadratik yang memberikan nilai y_0 , A dan B, dan merupakan konstanta hasil pemodelan. Model ini merupakan suatu fungsi transfer yang menyatakan hubungan input besaran fisis yaitu tingkat kelembaban (mc) gabah terhadap besaran elektrik sensor dalam bentuk tegangan keluaran (U_o). Nilai parameter model matematis dari tiap sampel ditunjukkan pada Tabel 1.

Berdasarkan Gambar 5 dan data pada tabel 1 terlihat bahwa varietas Sokan memiliki tegangan tertinggi sebesar 1887,8 mV pada tingkat kelembaban 12,36% dan tegangan terendah untuk gabah BB42 sebesar 1383,4mV pada tingkat kelembaban 18,10%. Hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai tegangan keluaran osilator untuk varietas Anak Daro dan

BB 42 memiliki rentang tegangan output yang sama yaitu (1200 ± 200) mV namun tingkat kelembaban yang berbeda. Pada varietas Sokan, nilai frekuensi yang ditunjukkan berbeda dengan varietas Anak Daro dan BB 42 tetapi memiliki pola yang sama dalam hubungan dengan tingkat kelembaban dan tegangan.

Tabel 1. Nilai parameter model ketiga sampel uji

No	Varietas Gabah	Parameter Model Matematis			R^2
		y_0	A	B	
1	Gabah Anak Daro	-1928,38	331,68	-8,27	0,9696
2	Gabah BB 42	-2879,71	451,43	-11,99	0,9401
3	Gabah Sokan	-876,46	397,28	-14,57	0,9298

Perbedaan output yang dihasilkan sensor seperti terlihat pada Gambar 5 dominan disebabkan oleh bentuk dan geometri gabah padi yang berbeda, dimana kerapatan gabah di dalam wadah silinder sensor tidak sama. Semakin padat gabah padi maka komponen udara yang berkontribusi pada perbedaan nilai dielektrik lebih kecil dibandingkan susunan gabah yang regang. Perbedaan ini ditunjang oleh kemampuan struktur kulit gabah dalam menyerap air di permukaannya, yang menyebabkan karakteristik dielektrik gabah menjadi lebih bersifat konduktif atau kapasitif, dan berkontribusi pada pembentukan frekuensi osilator RC. Karakteristik dielektrik ini dapat disusun menjadi suatu susunan kompleks R dan C yang mempengaruhi perbedaan output sensor. Pengukuran yang berulang dan pengambilan data lebih banyak secara statistik akan memperbaiki kualitas data dan menunjukkan konsistensi hasil pengukuran untuk sensor yang lebih baik.

3. Kesimpulan

Pembuatan sensor kapasitif untuk mengukur tingkat kelembaban gabah padi telah berhasil dibuat. Sampel uji diambil dari gabah padi yang populer ditemukan dipasaran lokal yaitu gabah Anak Daro, BB42 dan Sokan. Evaluasi mc gabah dilakukan berdasarkan perubahan nilai kapasitansi sensor menggunakan rangkaian osilator RC dan PLL yang akan mengkonversi nilai kapasitansi menjadi tegangan keluaran.

Berdasarkan pemodelan terlihat bahwa kurva karakteristik dari masing-masing gabah dapat didekati dengan suatu persamaan polinomial kuadratik. Perbedaan kurva karakteristik disebabkan oleh bentuk dan karakteristik dari masing-masing gabah, dan dimodelkan dalam suatu persamaan matematika. Model ini selanjutnya dapat diimplementasikan dalam suatu mikrokontroler untuk perbaikan sinyal sensor yang lebih baik.

Ucapan terima kasih

Terimakasih disampaikan kepada Saudari Syafitri Wahyuni yang telah mempersiapkan dan melakukan pengukuran sampel serta saudara Valendry Harvenda yang telah mempersiapkan manuskrip dengan baik.

Daftar Pustaka

1. Reddy N.G.K., Kumar K., Anand K., Priyadharshini R., and Rajeshwari K., *Estimation of Durability of Rice Grains Using Sensors and Mobile Technology*, IEEE Intl. Conf. Tech. Innov. in ICT for Agr. and Rural Development (TIAR), 2016, 33-35.

2. Mahale B. dan Korde S., *Rice Quality Analysis Using Image Processing Techniques*, International Conference for Convergence of Technology, 2014.
3. Wang W.C. dan Dai Y. Z., *A Grain Moisture Detecting System Based on Capacitive Sensor*, International Journal of Digital Content Technology and its Applications, Vol. 5 No. 3, 2011, 203-209.
4. Iswari K., *Kesiapan Teknologi Panen dan Pascapanen Padi dalam Menekan Kehilangan Hasil dan Meningkatkan Mutu Beras*, Jurnal Penelitian dan Pengembangan, Badan Litbang Pertanian Kementerian Pertanian RI, Vol. 31, No 2, 2012.
5. Thakur A.K. dan Gupta A.K., *Water Absorption Characteristics of Paddy, Brown Rice and Husk During Soaking*, Journal of Food Engineering Vol. 75, No. 2, 2006, 252-257.
6. Ki-Bok K., Jong-Heon K., Seung Seok L. dan Sang Ha N., *Measurement of Grain Moisture Content Using Microwave Attenuation at 10.5 Ghz and Moisture Density*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 51, No. 1, 2002, 72 – 77.
7. Afzal T.M. dan Abe T., *Simulation of Moisture Changes in Barley During Far Infrared Radiation Drying*, Computer and Electronics In Agriculture, Vol. 26, No. 2, 2000, 137-145.
8. Okabe T., *A New Method for The Measurement of Grain Moisture Content by the use of Microwaves*, Journal Agriculture Engineering Rrs. Vol. 18. 1973, 59-66.
9. Bradley Jr R.L., *Moisture and Total Solid Analysis*. Food Analysis, 2010, 85-104.
10. Tsukada K. dan Kiwa T., *Magnetic Measurement of Moisture Content of Grain*, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 43, No. 6, 2007, 2683-2685.
11. Mizukami Y., Sawai Y., Yamaguchi Y., *Moisture Content Measurement of Tea Leaves by Electrical Impedance and Capacitance*, Biosystems Engineering Vol. 93, No. 3, 2006, 293-299.
12. Jafari F., Khalid K., Daud W.M., Yusoff M., dan Hassan J., *Development And Design Of Microstrip Moisture Sensor for Rice Grain*, International RF and Microwave Conference Proceedings, September 12 - 14, 2006, Putrajaya, Malaysia, 258-261.
13. Musa A., Siriburanon T., Miyahara M., Okada K., dan Matsuzawa A., *A Compact, Low-Power and Low-Jitter Dual-Loop Injection Locked PLL Using All-Digital PVT Calibration*, IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 49, No. 1, 2014, 50-60.
14. Park Y. dan Wentzloff D.D., *An All-Digital PLL Synthesized from a Digital Standard Cell Library in 65nm CMOS*, IEEE Custom Integrated Circuits Conf., 2011.