

SENSOR KAPASITIF SEDERHANA UNTUK MENGUKUR TINGKAT KELEMBABAN GABAH PADI BERBASIS PENGUKURAN DIELEKTRIK

Lazuardi U, Rahmondia N. Setiadi, Donny S

Staf Pengajar Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

ABSTRACT

We have developed capacitive sensor for measuring the moisture level of rice grain based on dielectric measurement of the electrode. Calibration of the initial moisture level was conducted at BPTP Pekanbaru. Three local rice varieties were tested Anak Daro, Cokan, and Pulut with the grain moisture ranging from 19 % to 32 %. Pulut varieties has maximal output frequency of the LC oscillator at 1.255 MHz with a humidity level of 25.85% while the smallest frequency was obtained from varieties Anak Daro at 1.135 MHz and 29.56% moisture level. The results showed that the moisture level is inversely proportional to the frequency of LC oscillator output. By using the values of the mathematical model equations, the moisture level of grain can be calculated from the value of the frequency with R^2 values of Anak Daro, Cokan, and Pulut are 0.963, 0.933, and 0.965 respectively.

Keywords: *Capacitive sensor, moisture level, dielectric, LC oscillator, rice grain*

PENDAHULUAN

Bahan pangan paling mendasar untuk kebutuhan manusia dan hewan adalah biji-bijian yang memiliki kandungan pati yang tinggi dan menyediakan sumber energi utama bagi manusia serta hewan, selain kandungan protein dan lemaknya. Padi, jagung dan gandum adalah biji-bijian utama sumber pangan dan telah menjadi makanan pokok sejak awal peradaban manusia yang tergolong ke dalam bahan yang termasuk dalam biji-bijian. Biji-bijian merupakan bahan pangan yang tahan lama karena tidak mudah rusak selama pengangkutan dan mutunya dapat dipertahankan dalam masa penyimpanan yang panjang jika telah diperlakukan dengan benar selama panen, pengeringan dan penyimpanan (USDA, 2000).

Peningkatan mutu bahan pangan agar sesuai dengan acuan mutu internasional adalah tantangan paling besar dalam pasca panen. Tujuan utama dari peningkatan penanganan pascapanen hasil pertanian adalah mengurangi kehilangan hasil yang disebabkan oleh kehilangan fisik maupun penyusutan serta penurunan kualitas (BBP, 2007).

Pengurangan tingkat kelembaban biji-bijian (*moisture content, mc*) dapat dilakukan dengan pengeringan secara alami atau buatan. Biji-bijian yang dikeringkan secara buatan (*artificial*) dilakukan dengan penjemuran di lantai pengering dan membiarkan dialiri angin sampai pada tingkat kelembaban tertentu. Hal ini tentu saja menghabiskan waktu dan biaya dalam memenuhi tingkat kelembaban biji yang diinginkan jika masing-masing sampel dan tempat pengeringan harus secara teratur diukur untuk menentukan apakah tingkat kelembaban (*MC*) biji-bijian yang diinginkan telah tercapai sehingga pengeringan dapat dihentikan.

Pada penelitian ini dikembangkan sensor untuk mengukur tingkat kelembaban biji-bijian yang dapat mengestimasi tingkat kelembaban biji-bijian berdasarkan pengukuran kapasitansi menggunakan osilator LC pada sampel biji-bijian harus mengupas dan membersihkannya.

METODE PENELITIAN

1. Konsep Pengukuran Kelembaban

Tingkat kelembaban diartikan sebagai jumlah air dalam bahan atau zat.

Kelembaban dari suatu bahan pangan dengan menggunakan massa sebagai parameter dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Kandala, 2005):

$$\theta_w = \frac{m_a}{m_k} \times 100\% \quad (1)$$

Disisi lain kelembaban relatif dapat dinyatakan dengan:

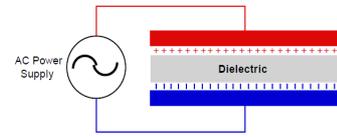
$$\theta_w = \frac{m_a}{m_a + m_k} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana θ_w adalah tingkat kelembaban, (mc) (%), m_a dan m_k merupakan masa air (gr) dan massa kering (gr) berturut-turut. Beberapa metode yang tersedia untuk mengukur tingkat kelembaban makanan seperti dinyatakan oleh Mc Clements (2003) antara lain radiasi inframerah, radiasi gelombang mikro, spektroskopi, konduktivitas listrik, dan refraktometri. Pada penentuan kadar kelembaban dengan konduktivitas listrik, hambatan listrik menjadi ukuran kadar kelembaban sampel. Sementara penentuan kadar kelembaban dengan refraktometri menggunakan metoda pengukuran optis. Indeks bias merupakan fungsi non linier dari konsentrasi gula. Nilai yang diukur hanya menunjukkan analisa matriks pada penambahan gula (dalam hal ini air).

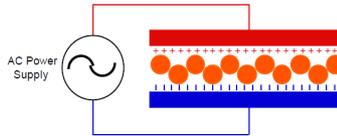
Metode ukur lainnya adalah metode kapasitansi yang dapat diandalkan, aman, sederhana dan ekonomis untuk pemeriksaan secara rutin dimana sensor dikalibrasikan secara tepat untuk jenis biji, kisaran tingkat kelembaban dan ukuran partikel, sensor dapat digunakan dalam kisaran kalibrasinya dengan teliti serta kelembaban biji tersebar merata di seluruh biji. Kapasitor yang diubah menjadi sebuah sensor kelembaban biji-bijian secara teori cukup sederhana, biji-bijian yang diuji ditempatkan di antara keping-keping kapasitor sebagai dielektrik yang diperlihatkan secara skematis seperti pada Gambar 1.

Pada kedua pelat sejajar terdapat dielektrik akan meningkatkan nilai kapasitansi (Serway et. al., 2004). Untuk

kapasitor keping sejajar dengan luas A dan jarak keping d dapat disimpulkan bahwa kapasitansi dengan adanya dielektrik adalah:



(a)



(b)

Gambar 1. Pengukuran kelembaban biji-bijian dengan metode kapastif, (a) Kapasitor tanpa sampel, (b) Kapasitor dengan sampel (AgriChem Inc., 1994)

Dimana: C kapasitansi dengan dielektrik (F), C_o kapasitansi tanpa dielektrik (F), ϵ_r permitivitas dielektrik, ϵ_o permitivitas ruang bebas ($8,85.10^{-12}$ F/m). Kebergantungan konstanta dielektrik jagung pada kisaran frekuensi 1 MHz sampai 11 MHz telah diselidiki (Nelson, 1978). Perubahan konstanta dielektrik lebih tampak pada 1 MHz dan 5 MHz, dan ditemukan bahwa perubahan ini dapat digunakan sebagai suatu parameter yang berguna dalam memperkirakan tingkat kelembaban biji jagung dan biji kacang. Jika detektor kelembaban biji-bijian yang memilik pelat ganda dengan kapasitansi ganda C_1 dan C_2 dapat ditentukan konstanta dielektrik sebagai:

$$\epsilon_{r1} - \epsilon_{r2} = \frac{(C_1 - C_2)}{\epsilon_o A} \quad (4)$$

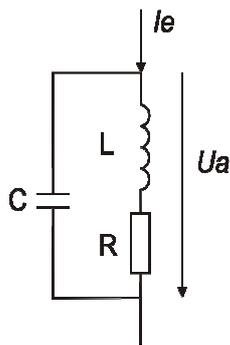
Nilai $(C_1 - C_2)$ merupakan perubahan konstanta dielektrik pada dua frekuensi yang dapat digunakan untuk menentukan tingkat kelembaban sampel kacang yang mengisi ruang di antara keping-keping sejajar, ϵ_{r1} dan ϵ_{r2} konstanta dielektrik dari bahan yang diisi pada dua frekuensi.

2. Deskripsi Rangkaian Elektronik

Pengukuran dan pengujian kelembaban gabah padi yaitu dengan mengubah besaran fisis berupa kelembaban θ_w menjadi besaran elektrik berupa frekuensi (Hz) menggunakan suatu rangkaian osilator LC dengan bagian pengendali penala frekuensi (*tank circuit*) berupa bagian induktif dan kapasitif.

Bagian kapasitif yang berfungsi sebagai sensor terbuat dari sepasang keping pelat bundar paralel yang digunakan sebagai tempat untuk memuat sampel (gabah). Sampel diukur menggunakan osilator yang kemudian dibaca menggunakan frequency counter dan komputer. Perubahan kapasitansi pada pelat sejajar bergantung pada tingkat kelembaban sampel yang diuji.

Osilator LC dapat berfungsi optimal dengan rangkaian umpan balik. Rangkaian umpan balik dirancang memberikan tegangan umpan balik yang fasanya sama dengan sinyal input. Osilator LC bekerja pada frekuensi 500 kHz keatas yang cenderung menggunakan induktor dan kapasitor sebagai bagian pengendali frekuensi (Silva, 2001). Bentuk suatu osilator LC diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian penala (*tank circuit*) dari osilator LC (Traenkler, 1990)

Seperti yang dijelaskan oleh Traenkler (1990), nilai frekuensi dari rangkaian paralel di atas sama dengan tahanan kompleks Z yaitu:

$$Z = \frac{U_a}{I_e} = \frac{1}{Y} = \frac{1}{j\omega C + \frac{1}{R + j\omega L}} \quad (5)$$

$$= \frac{1}{\frac{R}{R^2 + (\omega L)^2} + j\omega \left(C - \frac{L}{R^2 + (\omega L)^2} \right)}$$

Dari sudut fasa $Im Z = 0$ ditentukan frekuensi resonansi ω_0 menjadi

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{1 - R^2 \frac{C}{L}} \quad (6)$$

Untuk nilai $R \ll \omega_0 L$ diperoleh besarnya faktor kualitas Q sebesar

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (7)$$

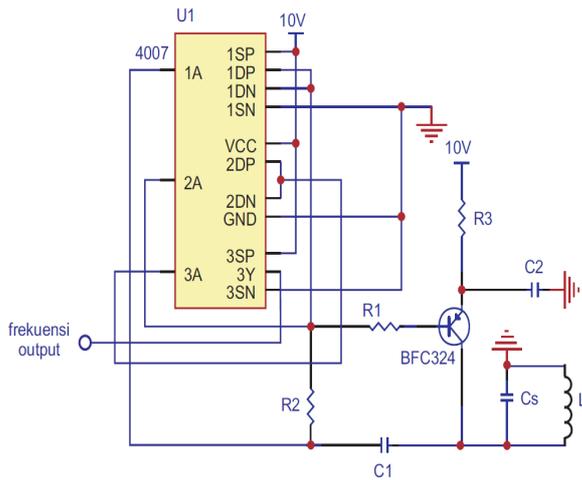
Frekuensi resonansi dari ω_0 yang diperoleh menjadi

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{1 - 1/Q^2} \approx \frac{1}{\sqrt{LC}} \left(1 - \frac{1}{2Q^2} \right) \quad (8)$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \sqrt{1 - 1/Q^2} \quad (9)$$

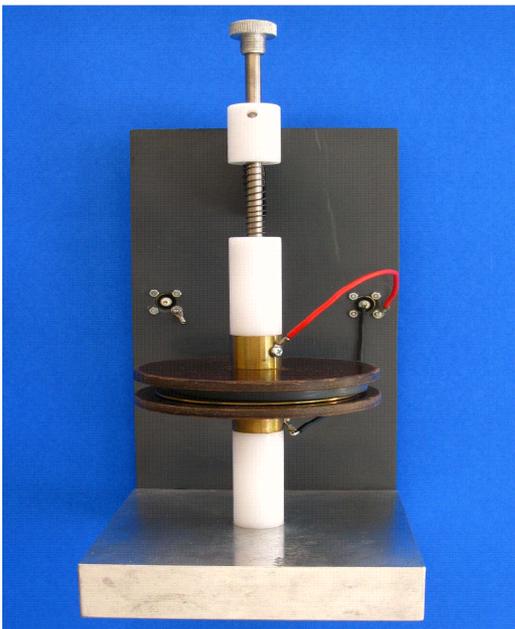
$$\approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \left(1 - \frac{1}{2Q^2} \right)$$

Realisasi osilator LC menggunakan inverter dari IC 4007 yang merupakan *Dual Complementary Pair Plus Inverter* yang terdiri atas masing-masing 3 *N-channel* dan *P-channel enhancement mode devices packaged*, yang dilengkapi rangkaian penala (*tank circuit*) eksternal menggunakan induktansi dan kapasitansi, lihat Gambar 3. Frekuensi keluaran dari osilator untuk pengukur biji-bijian berkisar 1-3MHz dan diukur menggunakan *frequency counter* Philips Digital PM3382.



Gambar 3. Rangkaian osilator LC dengan inverter 4007

Prototipe sensor kapasitif dibuat sesuai dengan rancang bangun alat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Prototipe sensor kapasitif

Gabah akan ditempatkan di antara dua elektroda berbentuk lingkaran yang memiliki diameter ϕ_{el} sebesar 10 cm. Kepingan elektroda ini terbuat dari bahan konduktor kuningan yang tahan terhadap proses oksidasi yang diakibatkan oleh sampel yang akan diuji. Kedua bagian kepingan diapit oleh dua bagian batang (atas dan bawah) berupa bahan isolator dari Teflon. Batang bagian bawah akan tersambung dengan dudukan sedangkan

batang bagian atas akan tersambung dengan pondasi vertikal.

Untuk menjaga agar sampel tidak keluar dari kepingan elektroda selama pengukuran maka dibuat cincin (*spacer*) untuk menjaga sampel tetap berada pada kepingan elektroda serta memiliki diameter ϕ_{sp} bagian dalam 9 cm dan tinggi 0,5 cm yang terbuat dari bahan isolator Nylon. Ruang yang dibentuk oleh *spacer* dapat dimuati gabah sebanyak 20 gr yang diukur dengan timbangan analitis. Jumlah massa gabah tersebut dijadikan jumlah massa awal untuk tiap varietas gabah yang akan diuji. Bagian batang atas diberikan pegas agar kepingan elektroda dapat digerakkan (ke atas dan ke bawah) sehingga sampel dapat dimasukkan dan dikeluarkan.

Pengukuran yang dilakukan dengan LCR Meter untuk memperoleh nilai kapasitansi dasar C_s elektroda kapasitif tanpa sampel adalah sebesar 3,59 nF.

3. Sampel Biji Gabah Padi

Secara anatomi biologi, gabah merupakan buah padi yang di dalamnya terdapat biji. Buah padi pada umumnya bertipe bulir tetapi diantaranya terdapat gabah yang berbentuk pipih (lebar). Dalam hal pengeringan luas permukaan gabah berpengaruh dalam waktu pengeringan. Luas permukaan gabah yang lebih besar tingkat kelembaban akan lebih cepat berkurang sedangkan gabah dengan luas permukaan yang lebih kecil lebih lambat berkurang.

Tingkat kelembaban gabah ketika dipanen berbeda-beda sesuai anatomi gabah. Bentuk dan ukuran ini mempengaruhi besarnya kadar air yang mampu diserap dan dilepaskan oleh gabah. Varietas gabah yang diuji adalah varietas Anak Daro, Cokan, dan Pulut seperti pada Gambar 5.

Pada Gambar 5 terlihat bahwa gabah Anak Daro warnanya lebih gelap dibandingkan dengan gabah Pulut dan Cokan yang lebih cerah. Tingkat kelembaban awal gabah diukur dengan alat

Crown Digital Grain Moisture Meter dari kantor BPTP Marpoan Pekanbaru.



Gambar 5. Jenis gabah yang diuji

Hasil pengukuran tingkat kelembaban awal untuk tiap varietas sampel memberikan hasil untuk gabah Anak Daro, Cokan dan Pulut adalah sebesar 18.3, 13.6, dan 13.1 % berturut-turut.

4. Prosedur Pengujian

Varietas sampel gabah yang akan diukur terdiri dari beberapa sampel. Massa maksimum yang dapat dimuat pada elektroda, yang diukur dengan timbangan analitis diperoleh massa sebesar 20 gram. Sampel kemudian ditempatkan di dalam cawan petri yang kemudian dituangi aquades hingga sampel basah. Sampel didiamkan dengan keadaan terendam aquades. Aquades akan diserap gabah hingga sampel jenuh. Waktu yang dibutuhkan hingga sampel hingga jenuh adalah selama 39 jam. Waktu rendam disesuaikan agar tidak sampai mengakibatkan sampel mengeluarkan kecambah. Setelah waktu rendam dilewati maka sampel disaring untuk memisahkan air yang merendam. Sampel yang telah disaring belum dapat langsung diuji karena ketika didiamkan tampak lapisan air yang terkumpul di dasar cawan petri. Bila sampel dalam keadaan seperti ini diukur dengan osilator maka osiloskop tidak dapat menampilkan sinyal frekuensi keluaran dari osilator LC. Hal ini dapat diatasi dengan menempatkan sampel di atas kertas tisu guna menyerap air aquades yang masih tersisa pada sampel.

Pada pengujian, sampel dengan kandungan aquades masing-masing dimasukkan ke dalam wadah cawan petri dan diberikan label untuk membedakan

varietas. Sampel yang akan diukur diangin-anginkan hingga sampel tidak membentuk lapisan air di dalam cawan petri. Massa sampel diukur dengan timbangan analitis untuk mengetahui massa sampel terbaru setelah diangin-anginkan dan dioven. Besarnya tingkat kelembaban bahan gabah (*moisture content, mc*) berdasarkan berat basah dihitung berdasarkan rumusan:

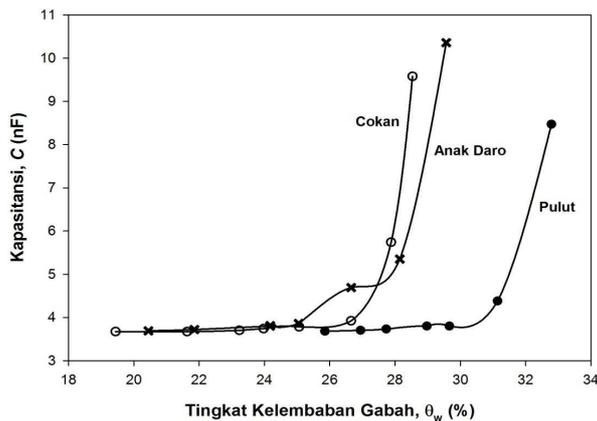
$$mc = \frac{\text{berat basah} - \text{berat kering}}{\text{berat basah}} \quad (10)$$

Untuk menguji perubahan kapasitansi dari detektor akibat adanya sampel gabah padi dengan kelembaban terdefinisi dilakukan mempergunakan osilator LC. Perubahan frekuensi keluaran osilator akibat adanya sampel diukur dengan menggunakan frequency counter yang terintegrasi dengan digital osiloskop Philips Digital PM3382. Data hasil pengukuran yang diperoleh kemudian diolah dengan komputer menggunakan perangkat lunak SigmaPlot dan TableCurve untuk mendapatkan persamaan matematis tingkat kelembaban sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Massa dari tiap sampel yang diberikan aquades menunjukkan kemampuan penyerapan dari tiap sampel terhadap aquades. Varietas Anak Daro memiliki massa sebesar 23,2 gr dengan tingkat kelembaban gabah 29,56 %, varietas Cokan memiliki massa sebesar 24,18 gr dengan tingkat kelembaban 28,53 %, sedangkan varietas Pulut memiliki massa sebesar 25,86 gr dengan tingkat kelembaban 32,79 %. Ketiga sampel ini diukur hingga sampel mengalami penguapan massa air akibat dari penguapan dengan proses pengeringan.

Karakterisasi awal dilakukan dengan mengukur kapasitansi sensor mempergunakan LCR Meter *DLINK 4070D* untuk mengetahui reaksi yang ditunjukkan oleh prototipe alat melalui hasil pengukuran dari tiap sampel dengan tingkat kelembaban, dapat diperhatikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik perubahan kapasitansi terhadap tingkat kelembaban gabah

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa varietas Anak Daro memiliki kapasitansi yang tertinggi sebesar 10,36 nF pada tingkat kelembaban 29,56 % dan terendah sebesar 3,69 nF pada kelembaban 20,44 %. Gabah Cokan memiliki kapasitansi tertinggi sebesar 9,58 nF pada kelembaban 28,53 % dan kapasitansi terendah 3,67 nF pada kelembaban 19,44 %. Disisi lain, Pulut memiliki kapasitansi tertinggi sebesar 8,47 nF pada tingkat kelembaban 32,79 % dan kapasitansi terendah yaitu 3,68 nF pada tingkat kelembaban 25,85 %.

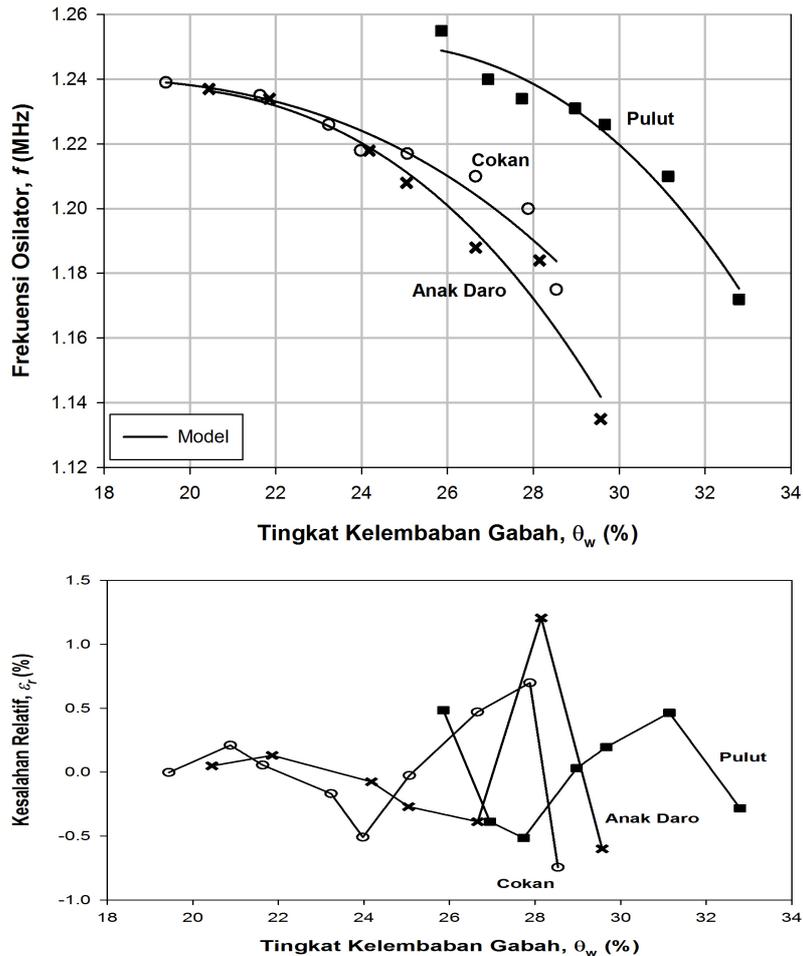
Grafik yang ditampilkan juga menunjukkan bahwa nilai kapasitansi sampel sangat rapat pada tingkat kelembaban 19 % sampai 25 %. Tetapi pada tingkat kelembaban sampel di atas 25 %, nilai kapasitansi sampel yang ditunjukkan mulai mengalami perbedaan yang semakin besar. Kapasitansi varietas Pulut tampak berbeda terhadap varietas Cokan dan Anak Daro. Varietas Anak Daro dan Cokan nilai kapasitansinya hampir saling berhimpitan sedangkan varietas Pulut nilai kapasitansinya cenderung jauh dari varietas yang lain. Varietas Pulut nilai kapasitansinya sangat rapat dari tingkat kelembaban 25 % sampai 29 %.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai kapasitansi meningkat secara eksponensial dengan naiknya tingkat kelembaban gabah berupa perubahan

dielektrik dari sensor ini. Kapasitansi terukur merupakan nilai kapasitansi gabungan dengan dielektrik yang terdiri atas sampel gabah dengan rongga udara yang ada di dalam prototipe alat yang tidak sepenuhnya diisi dengan gabah karena bentuk, ukuran dan susunan gabah sehingga mengakibatkan terbentuknya ruang udara di antara gabah.

Pada pengukuran tingkat kelembaban sampel, nilai frekuensi yang ditunjukkan ketika prototipe belum dimuati sampel adalah 1,6 MHz. Hasil pengukuran tingkat kelembaban menunjukkan bahwa sampel gabah Anak Daro memiliki tingkat kelembaban tertinggi sebesar 29,56 % dengan sinyal keluaran osilator 1,135 MHz sedangkan untuk tingkat kelembaban terendah sebesar 20,44 % dengan sinyal keluaran osilator sebesar 1,237 MHz. Varietas Cokan memiliki tingkat kelembaban tertinggi sebesar 28,53 % dengan sinyal keluaran osilator 1,175 MHz sedangkan untuk tingkat kelembaban terendah sebesar 19,44 % dengan sinyal keluaran osilator sebesar 1,239 MHz. Varietas Pulut memiliki tingkat kelembaban tertinggi sebesar 32,79 % dengan sinyal keluaran osilator 1,172 MHz sedangkan untuk tingkat kelembaban terendah sebesar 25,85 % dengan sinyal keluaran osilator sebesar 1,255 MHz.

Hasil yang diperoleh menyatakan bahwa frekuensi keluaran osilator berbanding terbalik dengan tingkat kelembaban gabah. Semakin besar tingkat kelembaban gabah maka sinyal keluaran osilator semakin kecil yang memperlihatkan hubungan non linier. Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai frekuensi keluaran osilator untuk varietas Anak Daro dan Cokan saling mendekati hampir pada semua tingkat kelembaban yang diukur. Disisi lain untuk varietas Pulut, nilai frekuensi yang ditunjukkan berbeda dengan varietas Anak Daro dan Cokan tetapi memiliki kecenderungan yang sama dalam hubungan dengan tingkat kelembaban dan frekuensi.



Gambar 7. Grafik perubahan frekuensi terhadap tingkat kelembaban gabah dan nilai kesalahan relatif antara pengukuran dan model sensor

Hasil pemodelan memberikan suatu fungsi transfer yang menyatakan hubungan antara input besaran fisis berupa hasil pengukuran tingkat kelembaban terhadap output besaran elektris berupa frekuensi osilator LC yang terbaca oleh frequency counter. Data yang didapatkan dimodelkan dengan perangkat lunak SigmaPlot dan Table Curve.

Hubungan antara tingkat kelembaban dan frekuensi keluaran osilator dapat dinyatakan oleh suatu fungsi model

matematis untuk ketiga sampel gabah mengikuti persamaan $f = a + b\theta_w^2 + c\theta_w^4$, di mana variabel f merupakan frekuensi keluaran osilator, variabel θ_w merupakan tingkat kelembaban gabah (mc) dan a, b, c adalah nilai masing-masing parameter model.

Nilai parameter model matematis dari tiap sampel ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Nilai Parameter Model Matematis Sensor Kapasitif

No	Varietas Gabah	Parameter Model Matematis			R^2
		a	B	c	
1	Anak Daro	1.194	2.488×10^{-4}	-3.529×10^{-7}	0.9632
2	Cokan	1.221	1.293×10^{-4}	-2.147×10^{-7}	0.9339
3	Pulut	1.144	3.660×10^{-4}	-3.136×10^{-7}	0.96509

Sementara persentase kesalahan relatif yang diperoleh dari pemodelan data pengukuran untuk menentukan fungsi matematis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7, memberikan kesalahan relatif maksimum sebesar 1,21 % untuk sampel gabah Anak Daro.

Pemodelan ini diperlukan untuk pengembangan alat selanjutnya dimana fungsi transfer yang diperoleh diprogramkan pada mikrokontroler sehingga dalam pengukuran selanjutnya mikrokontroler hanya memperoleh input pengukuran dari keluaran osilator LC berupa frekuensi f dan dengan fungsi transfer terprogram untuk gabah yang telah ditentukan maka tingkat kelembaban gabah θ_w dapat dihitung.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa alat pendeteksi tingkat kelembaban bahan gabah dengan menggunakan osilator LC telah berhasil dirancang dan diuji coba. Semakin tinggi tingkat kelembaban frekuensi keluaran osilator semakin kecil. Nilai frekuensi keluaran osilator paling besar dimiliki oleh varietas Pulut sebesar 1,255 MHz dengan tingkat kelembaban 25,85% dan frekuensi paling kecil diperoleh dari varietas Anak Daro sebesar 1,135 MHz pada tingkat kelembaban 29,56%.

Data pengukuran tingkat kelembaban dan frekuensi keluaran osilator dinyatakan dalam persamaan model matematis yaitu

$$f = a + b\theta_w^2 + c\theta_w^4$$

Nilai R^2 untuk varietas Anak Daro, Cokan, dan Pulut yaitu 0,963, 0,934, dan 0,965 se cara berurutan.

DAFTAR PUSTAKA

- AgriChem Inc. (1994). **Grain Moisture Measurement with Capacitance Type Devices.**
- Balai Besar Pascapanen (BBP). (2009). **Penanganan Pascapanen**
- Kandala, C.V., C.L. Butts, S.O. Nelson. (2005). **Capacitance Sensor for Nondestructive Measurement of Moisture Content in Nuts and Grain.** IMTC: Ottawa-Canada
- McClements, D.J. (2003). **Determination of Moisture and Total Solids**
- Mettler Toledo. (2002). **Application Brochure: Methods of Moisture Content Determination**
- Nelson, S.O. (1978). **Frequency and Moisture Dependence of Dielectric Properties of High-Moisture Corn.** Journal Microwave Power, Vol.13, No.2; Hal:213-218
- Rice Quality Workshop. (2003). **Measurement of Grain Moisture**
- Serway, R.A., J.W. Jewett. (2004). **Physics for Scientist and Engineers 6th Edition.** Thomson Brooks/Cole
- Silva, E. (2001). **High Frequency and Microwave Engineering.** Oxford: Butterworth-Heinemann
- Traenkler, H.R. (1990). **Taschenbuch der Messtechnik.** Muenchen: R. Oldenbourg Verlag
- USDA. (2000). **AMS Farmers Stock Peanuts Inspection Instruction.** Up dated 2000 (Washington: DC: USDA)