

RANCANGBANGUN ALAT UKUR KADAR AIR BIJI-BIJIAN TIPE KAPASITIF

Design and Development of Capacitance Type of Grain Moisture Content Meter

Arustiarso¹, R. Handoyo² dan Lilik Sutiarso²

*Program Studi Teknik Pertanian,
Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada*

ABSTRACT

Post harvest handling of grain on the optimum moisture content could maintain the top quality and increase the added value of grain. One of the important thing to support this case was that there available precision and accurate moisture content meter. There were two moisture content meters that available and easy used in every time and place. Those types were capacitance and resistance type. The advantages of capacitance type of moisture content meter were the tester not destructive, more accurate, and wider used. The reasons led that the research of "design and development of capacitance type of grain moisture content meter" was conducted.

The methods of this research were scheduled in four stages as design and development, testing of each unit, calibration, and test performance of the meter. The performance test were done on three kinds of grains: paddy, corn, and soybean, with three varieties each.

The results of this design were that meter consist of voltage source, voltage regulator, oscillator innovation, primary sensing element innovation of capacitance (moisture content) and voltmeter. The results of the laboratory testing were the output voltage of regulator was ± 11.8 volt DC, the output wave of the oscillator was sine wave of 2.1 volt with frequency $10 \pm 0,05$ MHz, the primary sensing element innovation of the capacitance (moisture content) could provide high sensitivity and also could become a filter, disappeared of noise, voltage amplifier, the wider of full scale deflection.

The calibration of the meter showed that there were logarithmic function relationships between output voltage of the meter (volt) and the grain moisture content (% wet basis). Besides that the effect of the grains temperature increased the output with increasing exponential relationship.

The performance testing showed that there was positive relationship between gravimetric moisture content measurement and that indicated moisture content of the designed prototype. Determination coefficient of this function was above 0,9900 for 211 of tested grains. Imprecision and inaccuracy of the meter was low.

Keywords: *capacitance – grain – moisture content meter.*

1) Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian, Serpong.

2) Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

PENGANTAR

Salah satu persyaratan utama penanganan pasca panen biji-bijian adalah kondisi kandungan kadar air bahan. Penanganan pasca panen biji-bijian pada kadar air yang optimum dapat mempertahankan mutu pada tingkat teratas dan meningkatkan nilai tambah. Sementara itu kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa kemampuan petani dalam menentukan kadar air produk pertanian masih lemah. Oleh karena itu diperlukan suatu alat ukur kadar air yang praktis dan memiliki keakuratan yang baik, serta mudah dalam penggunaannya.

Ada dua macam alat ukur kadar air yang sering dipergunakan dilapangan, yaitu (a) tipe kapasitif dan (b) tipe resistif. Tipe kapasitif memiliki beberapa kelebihan, antara lain dalam penggunaannya tidak perlu menghancurkan bahan yang diuji (non destruktif). Tipe ini cakupannya lebih luas dari pada metoda lain walau pembuatannya memerlukan ketelitian yang lebih tinggi (Srivastava, 1987). Dasar pertimbangan ini yang mendorong dilakukannya penelitian rancang bangun alat ukur kadar air biji-bijian tipe kapasitif.

Bila dibandingkan dengan alat ukur kadar air tipe kapasitif yang telah ada maka rancang bangun alat ukur kadar air biji-bijian tipe kapasitif yang dibuat mempunyai kelebihan-kelebihan yaitu: (1) adanya unit pemanipulasi frekuensi (osilator inovasi) untuk meminimalkan efek resistensi, (2) osilator inovasi lebih mudah dibuat dan stabil karena relatif tidak terpengaruh dengan toleransi resistor dan *stray capacitance*, dan (3) rangkaian lebih sederhana karena adanya rangkaian elemen inovasi pengindera utama kadar air/kapasitansi yang mempunyai multifungsi yaitu selain mempunyai sensitivitas tinggi terhadap kadar air/kapasitansi bahan juga sebagai penguat, filter, penghilang noise, dan dapat mengatur simpangan skala penuh.

Rancangan alat ini menggunakan sensor kapasitansi. Kapasitansi merupakan fungsi dari konstanta dielektrik relatif bahan, jarak antara dua plat, luas penampang plat dan massa bahan, yang dapat dirumuskan $C=f(\epsilon_r, D, A, m)$. Dalam hal ini juga berfungsi sebagai transduser yang mempunyai beberapa sifat penting diantaranya adalah jenis masukan merupakan perubahan konstanta dielektrik bahan atau perubahan luas plat, jangkauan masukan sangat luas dari 0,0001 cm sampai dengan beberapa meter, kepekaan masukan dapat mencapai 1pF, dan jangkauan keluaran 0,001 sampai dengan 1000 pF.

Selain itu sensor kapasitansi ini dapat dianggap sebagai kapasitor dengan beberapa sifat penting yaitu berwatak memiliki hubungan linier antara arus dengan laju pertambahan tegangan, memindahkan dan

menyimpan sumber daya, meratakan tegangan AC menjadi tegangan DC, memblokir sinyal DC sambil melewatkan sinyal AC, dan memfilter bagian yang tidak diinginkan dari sinyal fluktuasi (Holman, 1985).

Besarnya kapasitansi bahan sangat tergantung pada frekuensi karena nilai *permittivity* bahan dipengaruhi frekuensi. Banyak penelitian telah dilakukan bagaimana kaitan *permittivity relatif* dengan kadar air bahan. Salah satu penelitian tersebut yang terbaru adalah yang dilakukan oleh Okamura dan Ma (1998). Mereka menemukan bahwa pengukuran kadar air teh hijau (*green tea*) pada frekuensi tinggi yaitu 9,4 GHz adalah merupakan fungsi $Tg\delta$ untuk kadar air 0 – 50 % sedangkan untuk kadar air lebih besar 50% adalah merupakan fungsi dari nilai *permittivity imajiner* dibagi dengan densitasnya. Sedangkan Morgan et al. (1998) memanfaatkan nilai $Tg\delta$ minimum dari air untuk mengamati sifat dielektrik "Adonan Biscuit" pada frekuensi 27 MHz.

Salah satu modul dari alat ukur kadar air biji-bijian tipe kapasitif adalah osilator. Persyaratan utama dalam merancang osilator adalah harus memenuhi persyaratan Barkhausen yaitu besar penguatan total (A_{loop}) = 1; dengan *pergeseran fase total* = $k.360$ dimana k adalah bilangan cacah (0,1,2,3,...) untuk terjadi osilasi. Frekuensi osilator ini akan diumpankan ke elemen inovasi pengindera kapasitansi/kadar air, kemudian ditangkap oleh voltmeter AC sehingga merupakan alat ukur kadar air biji-bijian tipe kapasitif.

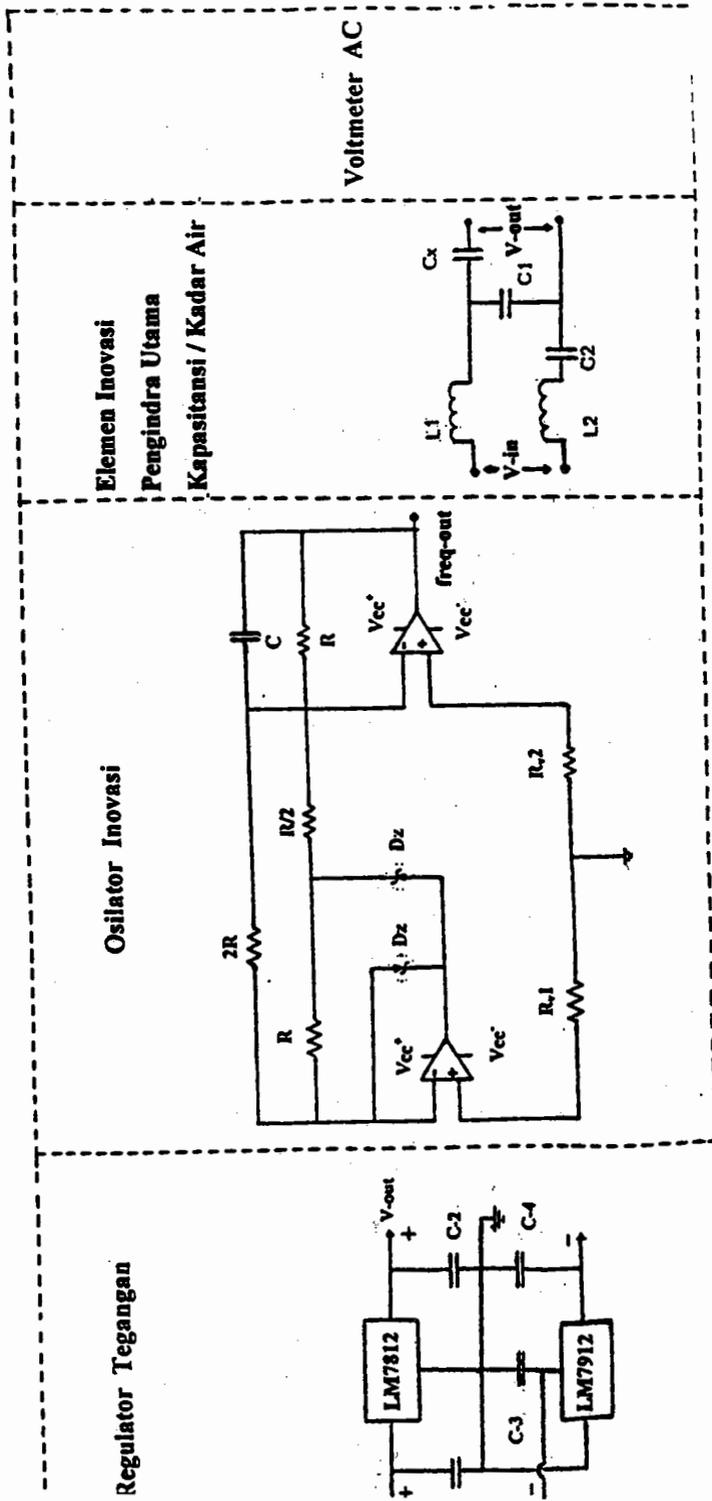
Adapun tujuan penelitian ini adalah merancang dan membuat alat ukur kadar air biji-bijian yang didasarkan pada nilai kapasitif bahan. Dengan demikian dapat memberi peluang mengatasi kelangkaan alat ukur kadar air yang akurat.

Sedangkan manfaat dari penelitian perancangan/pembuatan alat ukur kadar air biji-bijian tipe kapasitif ini akan memberikan kontribusi positif pada petani, sistem perdagangan komoditi biji-bijian dan juga perkembangan teknologi penanganan dan penyimpanan biji-bijian.

Lingkup penelitian yang akan dilakukan adalah merancang, membuat/merakit, dan menguji *performance* alat ukur kadar air biji-bijian tipe kapasitif untuk bahan uji padi, jagung, dan kedelai.

CARA PENELITIAN

Regulator Tegangan. Regulator tegangan dirancang untuk dapat menghasilkan tegangan $V_{cc} = -12$ Volt dan $V_{cc} = +12$ Volt. Adapun rangkaiannya pada lampiran Gambar 1.

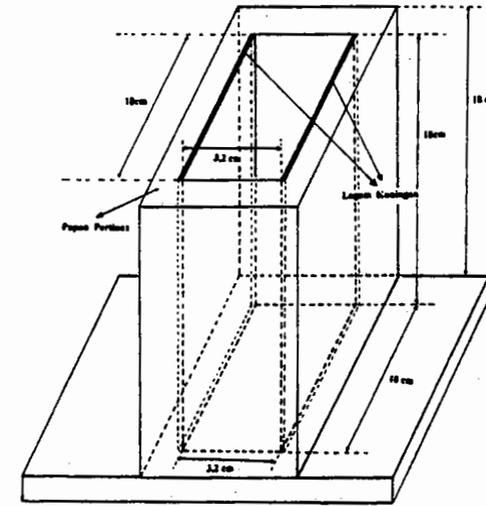


Gambar 1. Hasil rancangan alat ukur kadar air biji-bijian tipe kapasitif

Osilator Inovasi. Rancangan ini tercipta dengan menerapkan "Persyaratan Barkhausen" untuk terjadi osilasi. Rancangan "Osilator Inovasi" ini dirancang agar lebih mudah pembuatannya dan stabil karena menggunakan kelipatan resistor yang sama dan dioda zener sebagai pengkondisi arah arus listrik sehingga tegangan di titik-titik tertentu dapat menyebabkan tegangan output sama dengan tegangan input (Gambar 1).

Elemen Inovasi Pengindra Utama Kapasitansi/Kadar Air. Rangkaian ini dirancang selain agar mempunyai sensitivitas tinggi terhadap kapasitansi/kadar air, juga dapat berfungsi sebagai penguatan, filter, penghilang noise, dan memperlebar simpangan skala penuh (SSP) (Gambar 1).

Sensor Kapasitansi. Sensor ini dibuat dari logam kuningan yang tidak mudah berkarat dan dari papan pertinax yang tidak menyerap air (Gambar 2).

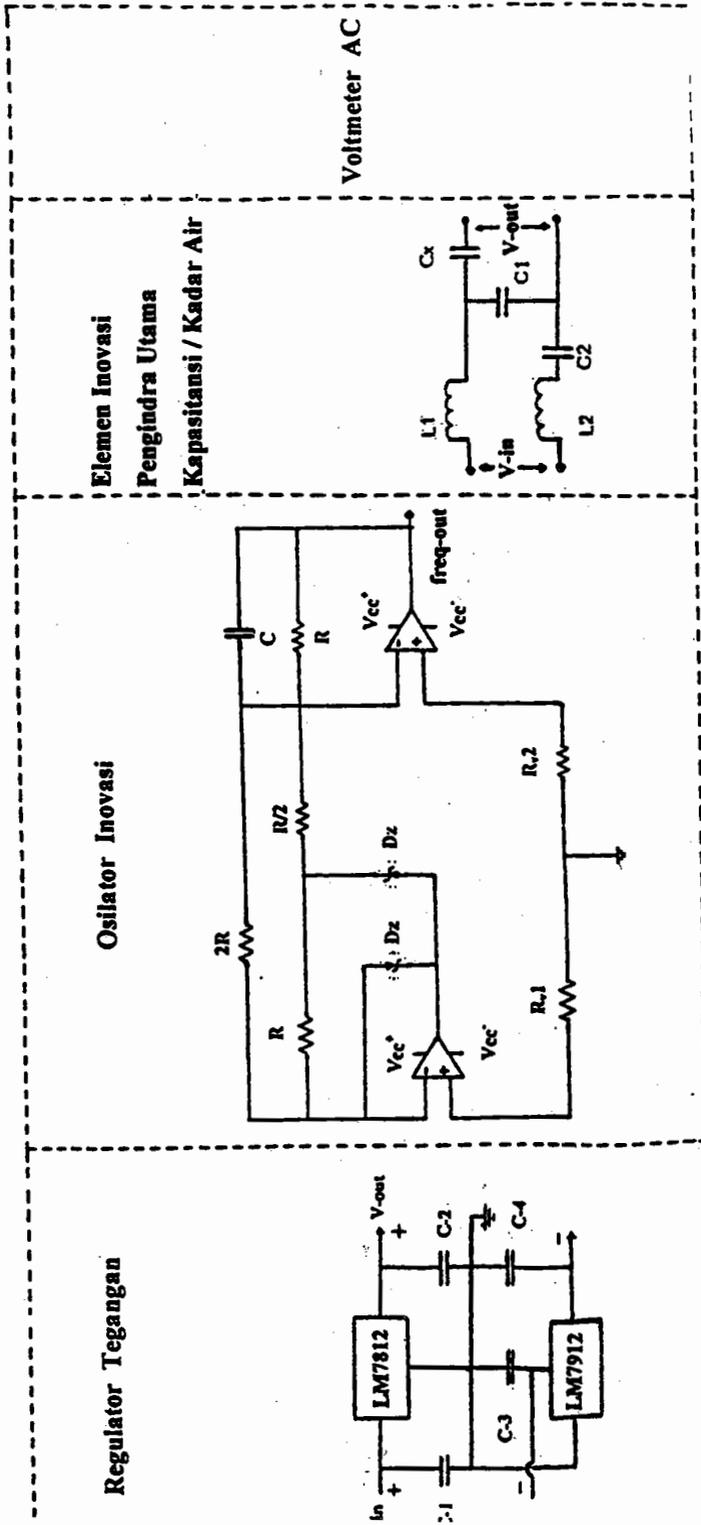


Gambar 2. Dimensi sensor kapasitansi

Voltmeter AC. Simpangan skala penuh voltmeter dipilih yang dapat mencakup tegangan pengukuran.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Lab. Energi dan Elektrifikasi, Fakultas Tehnologi Pertanian, dan Ruang 201 Gedung Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada. Adapun pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan Maret 2002 sampai dengan April 2003.

Bahan yang digunakan untuk membuat adalah Feri Clorit ($FeCl_3$),

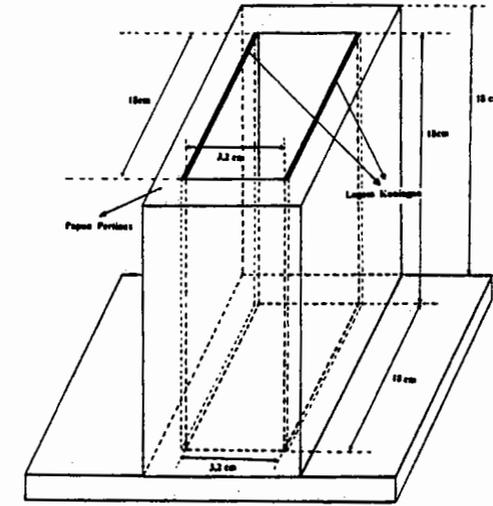


Gambar 1. Hasil rancangan alat ukur kadar air biji-bijian tipe kapasitif

Osilator Inovasi. Rancangan ini tercipta dengan menerapkan "Persyaratan Barkhausen" untuk terjadi osilasi. Rancangan "Osilator Inovasi" ini dirancang agar lebih mudah pembuatannya dan stabil karena menggunakan kelipatan resistor yang sama dan dioda zener sebagai pengkondisi arah arus listrik sehingga tegangan di titik-titik tertentu dapat menyebabkan tegangan output sama dengan tegangan input (Gambar 1).

Elemen Inovasi Pengindra Utama Kapasitansi/Kadar Air. Rangkaian ini dirancang selain agar mempunyai sensitivitas tinggi terhadap kapasitansi/kadar air, juga dapat berfungsi sebagai penguatan, filter, penghilang noise, dan memperlebar simpangan skala penuh (SSP) (Gambar 1).

Sensor Kapasitansi. Sensor ini dibuat dari logam kuningan yang tidak mudah berkarat dan dari papan pertinax yang tidak menyerap air (Gambar 2).



Gambar 2. Dimensi sensor kapasitansi

Voltmeter AC. Simpangan skala penuh voltmeter dipilih yang dapat mencakup tegangan pengukuran.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Lab. Energi dan Elektrifikasi, Fakultas Tehnologi Pertanian, dan Ruang 201 Gedung Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada. Adapun pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan Maret 2002 sampai dengan April 2003.

Bahan yang digunakan untuk membuat adalah Feri Clorit ($FeCl_3$),

tenol (timah bergondorikem), ampelas halus, PCB (*Printed Circuit Board*), spidol PCB, Mata Bor, Etanol, kain lap, kabel, kertas dan lain-lain.

Bahan penyusun Alat Ukur Kadar Air adalah kapasitor, sensor kapasitansi (pertainax, kuningan, lem kontak adesive), resistor, *Op-Amp LF 357*, dioda zener, dan *Voltmeter AC*.

Bahan yang digunakan untuk pengujian alat ukur kadar air biji-bijian adalah padi, jagung, dan kedelai masing-masing dengan tiga varietas.

Alat yang digunakan untuk membuat adalah solder, AVO-meter, Bor listrik, pinset, tang kecil, obeng kecil, obeng trimmer, gunting plat logam, dan lain-lain. Sedangkan alat untuk menguji tiap modul adalah osiloskop.

Pengujian regulator dilakukan dengan mengamati tegangan output yang dihasilkan. Sedangkan untuk Osilator Inovasi dan Elemen Inovasi Pengindra Utama Kapasitansi/Kadar Air pengujiannya dilakukan dengan osiloskop dengan keluaran yang diamati adalah tegangan, frekuensi dan bentuk gelombang sinus.

Kalibrasi alat dilakukan dengan bahan jagung varietas bisma, padi varietas IR-64, dan kedelai varietas Galunggung pada berbagai macam suhu udara yaitu 16° C, 20° C, 25° C, 30° C, dan 36° C / 37° C dengan massa bahan 570 gram.

Pengujian dilakukan dengan bahan jagung dengan varietas Arjuna, Bisma, dan Hibrida, padi dengan varietas Sentani, IR-64, dan IR-34 ; kedelai dengan varietas Wilis, Galunggung, dan Kijang. Pengukuran kadar air dilakukan pada massa bahan yang tetap yaitu 570 gram dan dengan berbagai macam suhu udara yaitu 16° C, 20° C, 25° C, 30° C, dan 36° C / 37° C.

Parameter-parameter yang akan diamati dalam pengujian ini adalah kepekaan, ketelitian, dan ketepatan yang mengacu pada *Doebelin EO., 1990* dalam bukunya yang berjudul "*Measurement Systems ; Aplication and Design*" yaitu :

$$\text{Kepekaan (S)} : S = \frac{\Delta q_o}{\Delta q_i}$$

$$\text{Ketidaktelitian (Imprecision)} = 3S_{q_i}$$

$$S_{q_i}^2 = \frac{1}{N} \sum \left(\frac{q_o - b}{m} - q_i \right)^2 = \frac{S_{q_o}^2}{m^2}$$

$$S_{q_o}^2 = \frac{1}{N} \sum (mq_i + b - q_o)^2$$

Ketidakakuratan (*Inaccuracy*)

$$\text{Inacc} = 3S_{q_i} + q_o \left(\frac{m-1}{m} \right) + \frac{b}{m}$$

Sedangkan analisis selanjutnya adalah analisis regresi dilakukan untuk mencari persamaan regresi dari hubungan antara kadar air gravimetri dengan tegangan *output* alat, pengaruh suhu udara terhadap tegangan *output* alat pada kalibrasi alat; dan antara kadar air gravimetri dengan kadar air terukur pada pengujian alat. Selain itu juga dicari koefisien korelasinya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Regulator Tegangan

Regulator tegangan dapat bekerja dengan baik yaitu dengan dapat menghasilkan tegangan + 11,8 Volt dan -11,8 Volt dengan sumber tegangan ° 15 Volt dengan komponen-komponennya adalah IC L7812 CV , IC L7912 CT, $C_1 = 0,33 \text{ mF}$, $C_2 = 0,1 \text{ mF}$, $C_3 = 0,33 \text{ mF}$, dan $C_4 = 0,1 \mu\text{F}$.

Osilator Inovasi

Osilator Inovasi yang dirancang dapat menghasilkan frekuensi ° 10 M Hz (10°0,05)MHz dengan bentuk gelombang sinus. Untuk dapat menghasilkan frekuensi tersebut digunakan IC LF 357 , Resistor 10 kΩ, dan Kapasitor 2pF.

Elemen Inovasi Pengindra Utama Kapasitansi/Kadar Air

Elemen Inovasi yang dirancang selain dapat berfungsi sebagai pengindra utama kapasitansi dengan sensitivitas tinggi juga dapat berfungsi sebagai filter, penghilang *noise*, dan penguat yang sekaligus memperlebar simpangan skala penuh. Untuk dapat berfungsi sebagai tersebut di atas maka untuk jagung dan kedelai besar komponen-komponennya adalah $L_1 = L_2 = 4,2 \text{ mH}$, $C_2 = 1 \text{ pF}$, dan $C_1 = 3 \text{ pF}$, sedang untuk padi besar $L_1 = L_2 = 4,7 \mu\text{H}$, $C_2 = 30 \text{ pF}$, dan $C_1 = 3 \text{ pF}$.

Sensor Kapasitansi

Sensor kapasitansi dibuat dari logam kuningan dan papan pertinax yang tidak menyerap air dengan ukuran 18 x 18 x 3,2 cm³.

Voltmeter AC

Skala simpangan penuh dari Voltmeter yang digunakan adalah yang dapat mencakup nilai tegangan pada kadar air terendah sampai

dengan kadar air tertinggi dalam penelitian ini yaitu pada simpangan skala penuh 10 Volt baik untuk jagung, padi, maupun kedelai.

Bahan Uji Jagung Varietas Bisma

Pengaruh kadar air terhadap tegangan alat pada suhu udara yang tetap adalah membentuk fungsi logaritmik sedang pengaruh suhu terhadap tegangan *output* alat pada kadar air yang tetap adalah membentuk fungsi eksponensial yang makin menaik. Berdasarkan hasil pengolahan data ini maka dapat dimodelkan fungsi tegangan *output* alat terhadap kadar air dan suhu udara. Adapun hasil pemodelan tersebut adalah sebagai berikut:

$$V = 4,415055 (\log K)^{0,823077} \cdot e^{0,009193 T} \dots \text{ dengan } R^2 = 0,9910$$

Dengan demikian sensitivitas alat tersebut pada suhu udara tertentu sebesar:

$$\left(\frac{dV}{dK} \right)_T = 1,481672 \cdot \frac{e^{0,009193 T}}{K}$$

Bahan Uji Padi Varietas IR-64

Pengaruh kadar air terhadap tegangan alat pada suhu udara yang tetap adalah membentuk fungsi logaritmik sedangkan pengaruh suhu udara terhadap tegangan *output* alat pada kadar air yang tetap adalah membentuk fungsi eksponensial yang makin menaik. Berdasarkan hasil pengolahan data ini maka dapat dimodelkan fungsi tegangan *output* alat terhadap kadar air dan suhu udara. Adapun hasil pemodelan tersebut adalah sebagai berikut:

$$V = 2,713314 (\log K)^{1,247425} \cdot e^{0,015305 T} \dots \text{ dengan } R^2 = 0,9810$$

Dengan demikian sensitivitas alat tersebut pada suhu udara tertentu sebesar:

$$\left(\frac{dV}{dK} \right)_T = 1,469928 \cdot \frac{e^{0,015305 T}}{K}$$

Bahan Uji Kedelai Varietas Galunggung

Pengaruh kadar air terhadap tegangan alat pada suhu udara tetap adalah membentuk fungsi logaritmik sedangkan pengaruh suhu terhadap tegangan *output* alat pada kadar air yang tetap adalah membentuk fungsi eksponensial yang makin menaik. Berdasarkan hasil pengolahan data ini maka dapat dimodelkan fungsi tegangan *output* alat terhadap kadar air dan suhu udara. Adapun hasil pemodelan tersebut adalah sebagai berikut:

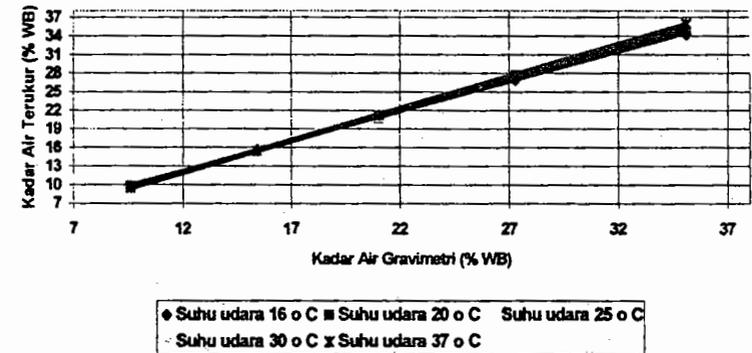
$$V = 3,477912 (\log K)^{0,756494} \cdot e^{0,009342 T} \dots \text{ dengan } R^2 = 0,9877$$

Dengan demikian sensitivitas alat pada suhu udara tetap sebesar:

$$\left(\frac{dV}{dK} \right)_T = 1,142637 \cdot \frac{e^{0,009342 T}}{K}$$

Bahan Uji Jagung Varietas Arjuna

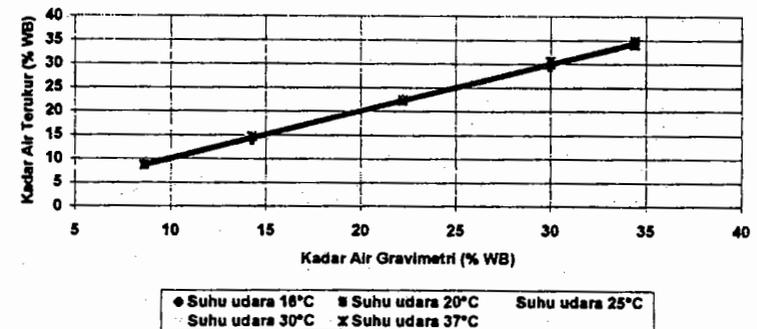
Dari hasil analisis regresi menunjukkan bahwa koefisien korelasi (R^2) pada berbagai suhu adalah diatas 0,999 dengan ketidaktelitian pada selang 0,28 s/d 0,77 % WB dan ketidaktepatan pada selang -0,80 s/d 0,62 % WB. Adapun grafik hasil analisis regresinya disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan kadar air gravimetri dengan kadar air terukur pada alat ukur kadar air biji-bijian tipe kapasitif dengan bahan uji jagung Varietas Arjuna pada berbagai macam suhu udara

Bahan Uji Jagung Varietas Bisma

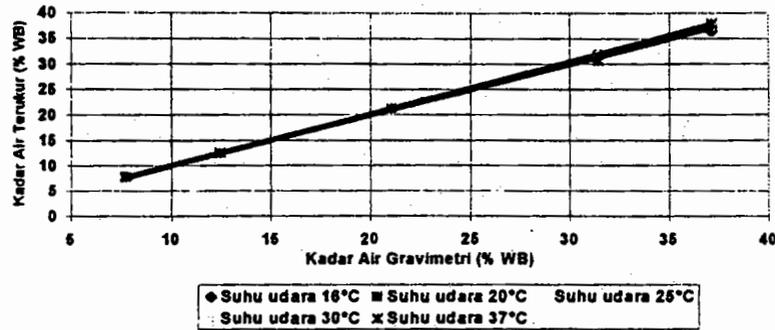
Dari hasil analisis regresi menunjukkan bahwa koefisien korelasi (R^2) pada berbagai suhu di atas 0,998 dengan ketidaktelitian pada selang 0,69 s/d 1,25 % WB dan ketidaktepatan pada selang -0,78 s/d 1,25 %WB. Adapun grafik hasil analisis regresi disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan kadar air gravimetri dengan kadar air terukur pada alat ukur kadar air biji-bijian tipe kapasitif dengan bahan uji jagung Varietas Bisma pada berbagai macam suhu udara

Bahan Uji Jagung Varietas Hibrida

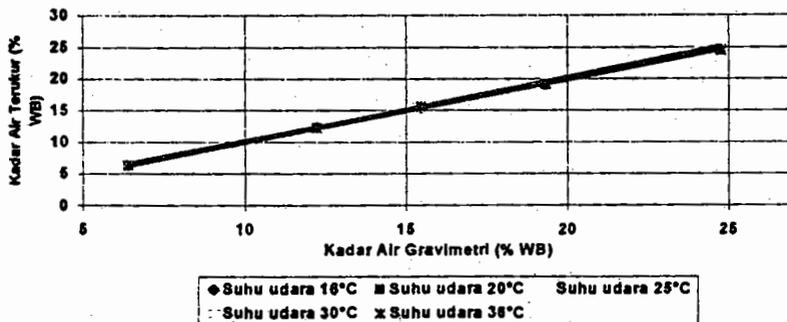
Dari hasil analisis regresi menunjukkan bahwa koefisien korelasi (R^2) pada berbagai suhu udara diatas 0,997 dengan ketidaktelitian pada selang 0,29 s/d 1,54 %WB dan ketidaktepatan pada selang -1,54 s/d 1,55 %WB. Grafik hasil analisis regresinya disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan kadar air gravimetri dengan kadar air terukur pada alat ukur kadar air biji-bijian tipe kapasitif dengan bahan uji jagung Varietas Hibrida pada berbagai macam suhu udara

Bahan Uji Padi Varietas Sentani.

Dari hasil analisis regresi menunjukkan bahwa koefisien korelasi (R^2) pada berbagai suhu udara adalah di atas 0,999 dengan ketidaktelitian pada selang 0,35 s/d 0,51 %WB dan ketidakakuratan pada selang -0,61 s/d 0,51 %WB. Grafik hasil analisis regresinya disajikan pada Gambar 6.

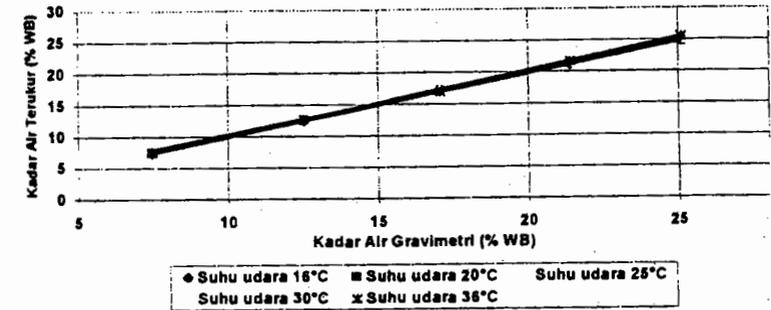


Gambar 6. Hubungan kadar air gravimetri dengan kadar air terukur pada alat ukur kadar air biji-bijian tipe kapasitif dengan bahan uji padi Varietas Sentani pada berbagai macam suhu udara

Bahan Uji Padi Varietas IR-64

Dari hasil analisis regresi menunjukkan bahwa koefisien korelasi (R^2) pada berbagai suhu udara diatas 0,999 dengan ketidaktepatan pada

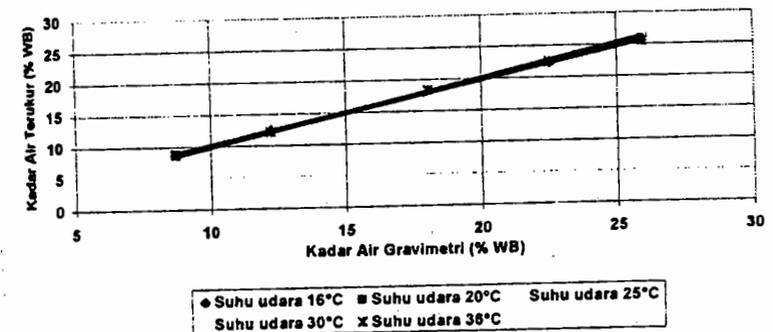
selang 0,31 s/d 0,55 %WB dan ketidakakuratan pada selang -0,52 s/d 0,56 %WB. Grafik hasil analisis regresinya disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hubungan kadar air gravimetri dengan kadar air terukur pada alat ukur kadar air biji-bijian tipe kapasitif dengan bahan uji padi Varietas IR-64 pada berbagai macam suhu udara

Bahan Uji Padi Varietas IR-36

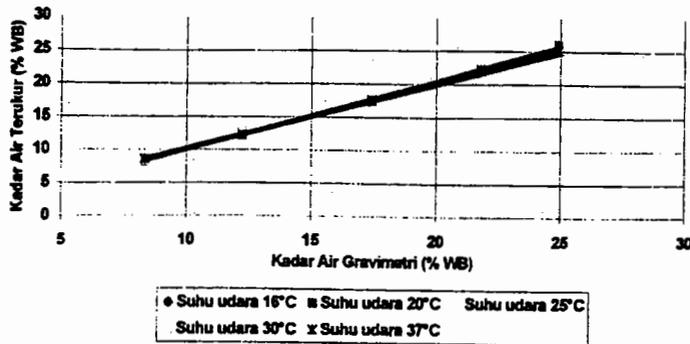
Dari hasil analisis regresi menunjukkan bahwa koefisien korelasi (R^2) pada berbagai suhu udara diatas 0,999 dengan ketidaktelitian pada selang 0,35 s/d 0,67 %WB dan ketidakakuratan pada selang -0,72 s/d 0,46 %WB. Grafik hasil analisis regresinya disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Hubungan kadar air gravimetri dengan kadar air terukur pada alat ukur kadar air biji-bijian tipe kapasitif dengan bahan uji padi Varietas IR-36 pada berbagai macam suhu udara

Bahan Uji Kedelai Varietas Wilis

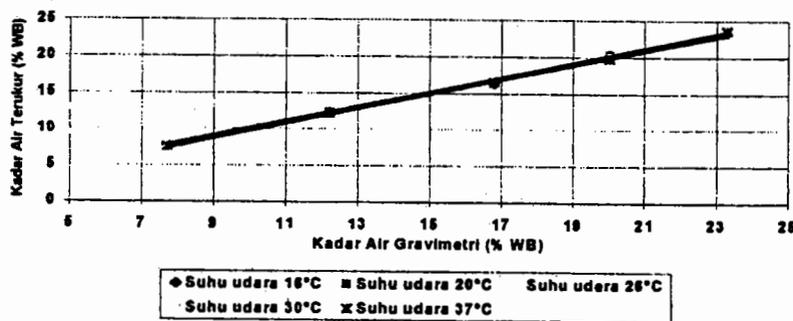
Dari hasil analisis regresi menunjukkan bahwa koefisien korelasi (R^2) pada berbagai suhu udara diatas 0,998 dengan ketidaktelitian pada selang 0,32 s/d 0,69 dan ketidaktepatan pada selang -0,78 s/d 0,78 %WB. Adapun grafik hasil analisis regresi disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Hubungan kadar air gravimetri dengan kadar air terukur pada alat ukur kadar air biji-bijian tipe kapasitif dengan bahan uji Kedelai Varietas Wilis pada berbagai macam suhu udara

Bahan Uji Kedelai Varietas Galunggung

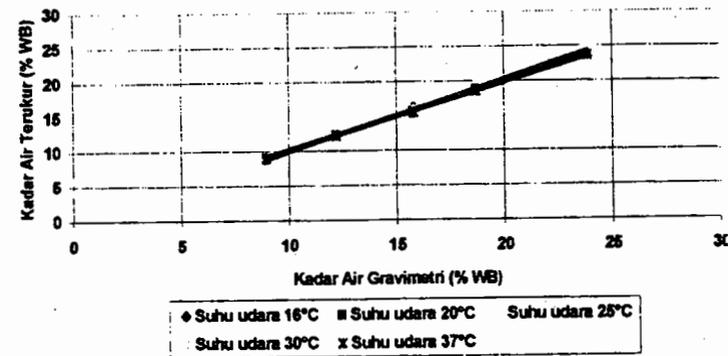
Dari hasil analisis regresi menunjukkan bahwa koefisien korelasi (R^2) pada berbagai suhu udara diatas 0,997 dengan ketidaktelitian pada selang 0,66 s/d 0,81 %WB dan ketidakakuratan pada selang -0,82 s/d 0,79 %WB. Grafik hasil analisis regresinya disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Hubungan kadar air gravimetri dengan kadar air terukur pada alat ukur kadar air biji-bijian tipe kapasitif dengan bahan uji kedelai Varietas Galunggung pada berbagai macam suhu udara

Bahan Uji Kedelai Varietas Kijang

Dari hasil analisis regresi menunjukkan bahwa koefisien korelasi (R^2) pada berbagai suhu diatas 0,996 dengan ketidaktepatan pada selang 0,28 s/d 0,94 %WB dan ketidakakuratan pada selang -1,07 s/d 0,90 %WB. Grafik hasil analisis regresinya disajikan pada Gambar 11.



Gambar 11. Hubungan kadar air gravimetri dengan kadar air terukur pada alat ukur kadar air biji-bijian tipe kapasitif dengan bahan uji kedelai Varietas Kijang pada berbagai macam suhu udara

Cara Penggunaan Alat Ukur Kadar Air Hasil Rancangan

Dalam pengukuran kadar air biji-bijian dengan alat hasil rancangan dapat disebutkan menjadi beberapa kegiatan yaitu:

- Persiapan bahan biji-bijian yang akan diukur kadar airnya, yang dalam hal ini meliputi menghomogenkan biji-bijian dengan cara mengaduk dan menimbang bahan biji-bijian yang akan diukur kadar airnya seberat 570 gram.
- Memasukkan bahan biji-bijian yang telah ditimbang tersebut ke dalam sensor kapasitansi alat ukur kadar air yang telah siap digunakan.
- Membaca dan mencatat tegangan keluaran (V dalam volt) alat dan mencatat suhu udara pada saat pengukuran (T dalam °C).
- Untuk pengguna yang sudah tersedia kalkulator maka untuk mencari besarnya kadar air biji-bijian dapat memasukkan dua data (V dan T) tersebut dalam rumus kadar air (%WB) berikut:

$$K = 10 \left(0,177717 \cdot e^{-0,011169 T} \cdot V^{1,214953} \right) \quad \dots \text{ untuk jagung}$$

$$K = 10 \left(0,449246 \cdot e^{-0,012270 T} \cdot V^{0,801651} \right) \quad \dots \text{ untuk padi}$$

$$K = 10 \left(0,192503 \cdot e^{-0,012349 T} \cdot V^{1,321888} \right) \quad \dots \text{ untuk kedelai}$$

- Untuk pengguna yang tidak membawa (waktu di lapang) / tidak mempunyai kalkulator dengan fasilitas pengoperasian yang lengkap (misalnya petani) maka untuk mendapatkan hasil pengukuran kadar air dapat menggunakan nomogram untuk jagung, untuk padi, dan untuk kedelai. Adapun cara penggunaan nomogram tersebut adalah sebagai berikut:

- Plotkan nilai V yang diperoleh pada sumbu horisontal dan tarik ke atas hingga pada garis T yang sesuai dengan suhu udara (°C).
- Tarik garis kekiri sehingga memotong sumbu vertikal log K dan lanjutkan kekiri sehingga memotong sumbu vertikal kadar air (K) sehingga nilai kadar air dapat dibaca.
- Cara di atas berlaku untuk tiga nomogram yang tersedia.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Rancangan Alat Ukur Kadar Air Biji-bijian Tipe Kapasitif tersusun dari modul-modul yaitu sumber tegangan, regulator tegangan, osilator inovasi, elemen inovasi pengindera utama kapasitansi/kadar air, dan voltmeter AC.

Osilator inovasi dapat menghasilkan murni gelombang sinus hanya tidak dapat tunggal tapi banyak frekuensi yaitu $(10 \pm 0,05)$ M Hz. Namun karena Vpp-nya sama maka mudah difilter.

Elemen inovasi pengindera utama kapasitansi/kadar air mempunyai multifungsi yaitu selain sebagai pengindera utama kapasitansi/kadar air dengan sensitivitas tinggi, juga dapat berfungsi sebagai filter, penghilang *noise*, dan penguat yang sekaligus memperlebar SSP (simpangan skala penuh).

Tegangan *output* alat sebagai fungsi dari kadar air dan suhu udara dirumuskan sebagai berikut:

a. Untuk jagung

$V = 4,145055 (\log K)^{0,823077} \cdot e^{0,009193 T}$ dengan $R^2 = 0,9910$ sehingga sensitivitas alat pada suhu udara tetap sebesar:

$$\left(\frac{dV}{dK} \right)_T = 1,481677 \cdot \frac{e^{0,009193 T}}{K}$$

b. Untuk padi

$V = 2,713314 (\log K)^{1,247425} \cdot e^{0,015305 T}$ dengan $R^2 = 0,9810$ sehingga sensitivitas alat pada suhu udara tetap sebesar:

$$\left(\frac{dV}{dK} \right)_T = 1,469928 \cdot \frac{e^{0,015305 T}}{K}$$

c. Untuk kedelai

$V = 3,477912 (\log K)^{0,756494} \cdot e^{0,009342 T}$ dengan $R^2 = 0,9877$

sehingga sensitivitas alat pada suhu udara tetap sebesar:

$$\left(\frac{dV}{dK} \right)_T = 1,142637 \cdot \frac{e^{0,009342 T}}{K}$$

Hasil pengujian alat ukur kadar air biji-bijian tipe kapasitif menunjukkan bahwa ada hubungan yang berkorelasi positif antara kadar air gravimetri dengan kadar air terukur dengan koefisien determinasi di atas 0,9900 baik pada bahan uji jagung, padi, maupun kedelai yang masing-masing dengan tiga varietas.

Rata-rata ketidakteelitian (*imprecision*) dan ketidaktepatan (*inaccuracy*) alat untuk bahan uji jagung adalah 0,81 %WB dan 0,92 %WB, untuk bahan uji padi adalah 0,44 %WB dan 0,52 %WB, dan untuk bahan uji kedelai adalah 0,67 %WB dan 0,75 %WB.

Saran

Sebagai pengukur kadar air biji-bijian dirasa perlu dikalibrasi juga dengan jenis biji-bijian yang lain agar cakupan penggunaannya lebih luas.

Untuk memudahkan penggunaan dan pengukurannya, perlu dipilih rangkaian pengkompensasi suhu secara elektronis.

Untuk penggunaan alat ini didalam sistim kontrol pengeringan dan penyimpanan perlu dipikirkan sistim pengolah isyarat secara digital sehingga dapat dikontrol dengan komputer.

DAFTAR PUSTAKA

- Holman J. P. 1985. *Metoda Pengukuran Teknik*. Penerbit Erlangga. Kramat, Jakarta 10420. Indonesia.
- Morgan M.T., Kim Y.R., and Okos M.R.. 1998. Measurement and Prediction of Dielectric Properties of Biscuit Dough at 27 MHz. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, ISSN :0832 – 7823, Vol : 33Iss:3, p184-93.
- Ma Z., and Okamura S. 1998. Density Dependence of Permittivity of Green Tea at 9,4 GHz and Moisture Content Determination. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, ISSN :0832 – 7823, Vol : 33Iss:3.
- Srivastava A.C. 1987. *Teknik Instrumentasi*. UI-Press, Universitas Indonesia. Jakarta, Indonesia.