

**SELEKSI PARAMETER DIELEKTRIK PENENTUAN MASA KADALUWARSA BISKUIT (WAFER)
DENGAN PENDEKATAN REGRESI LINIER, *FEATURE SELECTION (RELIEFF)* DAN
*ARTIFICIAL NEURAL NETWORK***

***SELECTION OF THE DIELECTRIC PROPERTIES FOR DETERMINATION OF SHELF LIFE
BISCUITS (WAFFER) WITH LINEAR REGRESSION, FEATURE SELECTION (RELIEFF) AND
ARTIFICIAL NEURAL NETWORK APPROACH***

Erna Rusliana Muhamad Saleh^{1)*}, Erliza Noor²⁾, Taufik Djabatna²⁾, Irzaman³⁾

¹⁾Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fak. Pertanian, Universitas Khairun
Jl. Raya Pertamina, Gambesi, Ternate, 97716
Email: ernaunkhair@yahoo.com

²⁾Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

³⁾Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor

ABSTRACT

The dielectric properties of a food product have a strong correlation with the water content. The water content is a critical parameter shelf-life for a dried food. There are fourteen dielectric parameters, i.e. impedance (Z), Young's modulus (Y), phase, series capacitance (Cs), parallel capacitance (Cp), displacement (D), series inductance (Ls), parallel inductance (Lp), electricity capacity (Q), series resistance (Rs), conductance (G), parallel resistance (Rp), electric susceptibility (X) and induction field (B). Each parameter correlates with the water content for food in some extent. The selection of parameters in the correlation with the determination of shelf-life is necessary. The objectives of this study was firstly, to select the dielectric parameters associated with the shelf-life of biscuits (wafer). Measurements were performed with the LCR-meter at a frequency of 42 Hz-5 MHz to constant current (CC) circuit of 1 Ampere and constant voltage (CV) circuit of 10 Volt. Secondly, to basic design an equipment using the selected dielectric parameter obtained. Data were processed by using linear regression, feature selection (Relief), and artificial neural network. The results found that the parameters of dielectric, Cp, was correlated with shelf life of wafer. The best performance obtained by using CC, in the range of 42 Hz-351.65 Hz (low frequency) and 4721.13 Hz - 50054.56 Hz (high frequency). Designing of this equipment used the RC circuit.

Keywords: *dielectric, shelf-life, wafer, linear regression, Relief, ANN*

ABSTRAK

Sifat dielektrik produk pangan memiliki korelasi kuat dengan kadar air, yang merupakan parameter kritis kadaluwarsa pangan kering. Terdapat 14 parameter dielektrik, yaitu impedansi (Z), Modulus Young (Y), Phase, Kapasitansi seri (Cs), Kapasitansi paralel (Cp), *Displacement* (D), Induktansi seri (Ls), Induktansi paralel (Lp), Muatan listrik (Q), Resistansi seri (Rs), Konduktansi (G), Resistansi paralel (Rp), Kerentanan (X) dan Medan induksi (B).. Masing-masing parameter memiliki tingkat korelasi berbeda-beda dengan kadar air untuk setiap jenis pangan. Penyeleksian tingkat korelasinya menjadi hal yang diperlukan untuk efisiensi penentuan masa kadaluwarsa, khususnya pada biskuit (wafer). Tujuan penelitian ini adalah (1) untuk menyeleksi parameter dielektrik yang berhubungan dengan masa kadaluwarsa biskuit (wafer). Pengukuran dilakukan dengan LCR-meter pada frekuensi 42 Hz- 5 MHz untuk rangkaian arus tetap (*Constant Current/CC*) 1 Ampere dan tegangan tetap (*Constant Voltage/CV*) 10 Volt. (2) untuk dasar desain alat ukur prediksi masa kadaluwarsa berbasis parameter dielektrik yang telah diseleksi sebelumnya. Data diolah dengan pendekatan regresi linier, *feature selection* (Relief) dan *Artificial Neural Network*. Hasil seleksi menunjukkan parameter yang berhubungan dengan masa kadaluwarsa adalah kapasitansi paralel. Kondisi rangkaian yang terpilih adalah CC. Range frekuensi terbaik adalah 42 Hz- 351,65 Hz (frekuensi rendah) dan 4721,13 Hz – 50054,56 Hz (frekuensi tinggi). Pendesainan alat ukur masa kadaluwarsa biskuit dirancang berdasarkan hasil seleksi parameter ini dengan metode rangkaian RC.

Kata kunci: dielektrik, masa kadaluwarsa, wafer, regresi linier, Relief, ANN

PENDAHULUAN

Masa kadaluwarsa biskuit selama ini diuji dengan menggunakan metode ESS (*Extended Storage Studies*) dan ASLT (*Accelerated Self Life Testing*) (Floros dan Gnanasekharan, 1993). Kedua metode ini memiliki kelemahan, diantaranya

membutuhkan waktu cukup lama (minimal 3-4 bulan), panelis terlatih, suasana yang tepat, biaya dan alat uji yang kompleks. Untuk itu diperlukan alternatif yang dapat mereduksi kelemahan tersebut.

Salah satu yang berpeluang sebagai alternatif adalah penggunaan sifat dielektrik. Sifat dielektrik adalah parameter utama yang memberikan

informasi tentang bagaimana bahan berinteraksi dengan energi elektromagnetik selama pemanasan dielektrik (Sosa-Morales *et al.*, 2010). Sifat-sifat dielektrik produk pangan memiliki korelasi kuat dengan kadar air, yang merupakan parameter kritis kadaluwarsa pangan kering. Nilai sifat dielektrik berbanding lurus dengan nilai kadar air suatu bahan. Pada kadar air yang tinggi, nilai tetapan dielektrik dan faktor kehilangan dielektrik juga tinggi, demikian juga pada kadar air rendah, nilai tetapan dielektrik dan faktor kehilangan dielektrik juga rendah (Guo *et al.*, 2008, Nelson and Trabelsi, 2012). Pengetahuan tentang sifat dielektrik makanan sangat penting dalam penelitian, pemodelan dan pengembangan perlakuan termal. Parameter ini memberikan informasi tentang interaksi antara bahan makanan dan bidang listrik (Ikediala *et al.*, 2000). Pengukuran nilai dielektrik dapat dilakukan dalam waktu singkat, relatif tidak membutuhkan alat uji yang kompleks dan tidak membutuhkan panelis sehingga dapat dilakukan dengan cepat dan biaya yang rendah.

Parameter dielektrik bermacam-macam, diantaranya impedansi (Z), Modulus Young (Y), Phase, Kapasitansi seri (C_s), Kapasitansi paralel (C_p), *Displacement* (D), Induktansi seri (L_s), Induktansi paralel (L_p), Muatan listrik (Q), Resistansi seri (R_s), Konduktansi (G), Resistansi paralel (R_p), Kerentanan (X) dan Medan induksi (B). Masing-masing parameter dielektrik tersebut memiliki tingkat korelasi yang berbeda-beda dengan kadar air untuk setiap jenis pangan. Sehingga, perlu diseleksi tingkat korelasinya dengan kadar air, untuk efisiensi penentuan kadaluwarsa pangan kering.

Penelitian yang terkait sifat dielektrik dengan pangan kering, sejauh ini dilakukan untuk menentukan besarnya nilai dielektrik pada berbagai jenis pangan tersebut. Di antaranya pada kopi (Berbert *et al.*, 2001), dua jenis gandum sereal (Nelson dan Trabelsi, 2012), tepung kacang panjang (Guo *et al.*, 2008), cookies (Li *et al.*, 2003), gabah dan biji-bijian (Nelson, 2004), almond dan walnut (Wang *et al.*, 2003) dan roti (Liu *et al.*, 2009). Penelitian yang dilakukan Harmen *et al.* (2004) untuk melihat hubungan nilai dielektrik dengan kadar air lada guna desain mesin pengering rempah-rempah.

Penelitian-penelitian terkait penentuan masa kadaluwarsa khususnya biskuit biasanya menggunakan parameter non dielektrik. Prediksi masa kadaluwarsa yang dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya berbasiskan parameter sifat non dielektrik (antara lain organoleptik, fisik, kimia, dan kondisi penyimpanan produk). Pengamatan yang dilakukan oleh Siripatrawan dan Jantawat (2008) pada snack dari beras. Dia menentukan masa kadaluwarsa snack dengan melihat beberapa parameter, yaitu karakteristik produk, jenis kemasan (*Polypropilene* dan *Low Density Polyethylene*) dan kondisi penyimpanan (suhu dan RH). Penelitian

yang mengaitkan nilai dielektrik dengan masa kadaluwarsa (biskuit) belum banyak yang melakukan.

Di antara sekian jenis biskuit, wafer adalah makanan yang sering ditemukan dalam kondisi kadaluwarsa disamping coklat (BPOM, 2010). Sehingga penelitian ini difokuskan pada wafer sebagai salah satu contoh kasus.

Tujuan penelitian ini adalah (1) menyeleksi parameter dielektrik yang berhubungan dengan masa kadaluwarsa biskuit (wafer). Pengukuran dilakukan dengan LCR-meter pada frekuensi 42Hz- 5MHz untuk rangkaian arus tetap (*Constant Current/CC*) 1 Ampere dan tegangan tetap (*Constant Voltage/CV*) 10 Volt dan (2) menentukan dasar desain alat ukur prediksi masa kadaluwarsa sesuai hasil seleksi parameter dielektrik sebelumnya.

BAHAN DAN METODE

Sampel

Sampel yang diuji adalah wafer rasa coklat dalam kemasan aluminium foil yang diproduksi di Jakarta dan hampir selalu ada di setiap hypermarket, minimarket dan toko. Data aktual masa kadaluwarsa diambil dari tanggal kadaluwarsa yang tercantum pada kemasan dengan 10 jenis masa kadaluwarsa yang berbeda (170-300 hari lagi).

Pengukuran Nilai Dielektrik

Pengukuran nilai dielektrik dilakukan dengan LCR-meter HIOKI 3532-50 LCR HiTester (Gambar 1) yang telah terhubung dengan komputer. Terdapat 14 parameter dielektrik yang diukur, yaitu Z , Y , Phase, C_s , C_p , D , L_s , L_p , Q , R_s , G , R_p , X dan B . Frekuensi pengukuran 42 Hz – 5MHz pada arus tetap (*Constant Current*) 1.0 Ampere dan tegangan tetap (*Constant Voltage*) 10 Volt dengan 100 *point* pengamatan. Setiap wafer yang akan diukur, diset pada plat paralel kapasitor berbahan tembaga, kemudian diukur nilai dielektrik 3 kali dan dirata-ratakan.



Gambar 1. Rangkaian alat pengukuran nilai dielektrik

Metode Seleksi

Seleksi Parameter Dielektrik dan Kondisi Rangkaian

Analisa regresi linier berganda, *feature selection* (ReliefF) dan *Artificial Neural Network* (ANN) digunakan untuk menyeleksi parameter dielektrik dan kondisi rangkaian (CC atau CV) yang berhubungan dengan masa kadaluwarsa wafer. Untuk seleksi parameter dielektrik digunakan 2000 *dataset*, sedangkan untuk seleksi kondisi rangkaian digunakan 1000 *dataset*.

Regresi Linier Berganda (RLG)

Regresi linier berganda (RLG) digunakan untuk menyeleksi parameter dielektrik. Model regresi linier berganda dapat dirumuskan (Chen dan Jackson, 2000) :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \epsilon$$

Dimana :

- Y = variabel terikat/kriteria
- X₁,..., X_n = variabel bebas ke-1, 2, ...n
- β₀, β₁,..., β_n = parameter regresi linier berganda
- ε = residual atau *error* prediksi

Dalam kasus ini yang berfungsi sebagai Y adalah masa kadaluwarsa sedangkan X₁ – X₁₄ secara berturut-turut adalah Z, Y, Phase, Cs, Cp, D, Ls, Lp, Q, Rs, G, Rp, X dan B.

Adanya korelasi variabel bebas dan terikat dilihat dari nilai signifikansi *Analysis of Variance* (Sig ANOVA) masing-masing parameter. Jika nilai Sig ANOVA kurang dari 0,05 (α), maka variabel bebas berkorelasi dengan variabel terikat. Jika tidak, maka tidak berkorelasi. Perangkingan dilakukan terhadap nilai Sig ANOVA yang kurang dari 0,05 dari yang terendah ke tertinggi. Nilai Sig ANOVA yang paling rendah (0,00) memiliki rangking paling tinggi, sedangkan yang paling mendekati 0,05 memiliki rangking paling rendah.

Regresi Linier Sederhana

Regresi linier sederhana digunakan untuk menyeleksi kondisi rangkaian apakah dengan CC atau CV. Rumus regresi linier sederhana (Chen dan Jackson, 2000) :

$$Y = a + bX$$

Dimana :

- Y = variabel terikat/kriteria
- X = variabel bebas
- a = Konstanta (nilai Y apabila X = 0)
- b = Koefisien regresi

Signifikansi dari kelinieran model regresi yang terbentuk diperlihatkan melalui tabel ANOVA (*Analysis of Variance*). Untuk melihat adanya

korelasi antara variabel bebas dan terikat serta rankingnya dilakukan seperti pada regresi linier berganda. Software yang digunakan untuk analisa regresi adalah SPSS for Windows Release 16.0 (SPSS, 2007).

Feature Selection (ReliefF)

Sebagai perbandingan, digunakan *feature selection* dengan algoritma ReliefF untuk menyeleksi parameter dielektrik dan kondisi rangkaian yang berkorelasi dengan masa kadaluwarsa. *Feature selection* adalah metode penganalisaan data untuk memilih fitur yang berpengaruh (fitur optimal) dan mengesampingkan fitur yang tidak berpengaruh. Algoritma ReliefF memanfaatkan teknik bobot (*weight*) untuk mengukur signifikansi fitur dalam konteks klasifikasi. Bobot ReliefF adalah nilai-nilai yang kontinu dan memungkinkan fitur untuk digolongkan berdasarkan relevansi. Fitur yang dipilih adalah yang memiliki nilai bobot terbesar. Algoritma ReliefF dikembangkan oleh Kononenko (1994). Algoritme ini merupakan pengembangan dari algoritma Relief Kira dan Rendell (1992a,b). Relief hanya memecahkan data dua kelas sedangkan ReliefF dapat menyelesaikan seleksi fitur dengan data multi-kelas, ber-*noisy* dan tidak lengkap (Kononenko 1994). Pseudocode algoritma lengkap ReliefF dapat dilihat pada Gambar 2.

```

Algorithm ReliefF
Input: for each training instance a vector of attribute values and the class value
Output: the vector W of estimations of the qualities of attributes
1. set all weights W[A] := 0.0;
2. for i := 1 to m do begin
3.   randomly select an instance Ri;
4.   find k nearest hits Hj;
5.   for each class C ≠ class(Ri) do
6.     from class C find k nearest misses Mj(C);
7.   for A := 1 to a do
8.     W[A] := W[A] - ∑j=1k diff(A, Ri, Hj) / (m · k) +
9.     ∑C ≠ class(Ri) [ P(C) / (1 - P(class(Ri))) ] ∑j=1k diff(A, Ri, Mj(C)) / (m · k);
10. end;
    
```

Gambar 2. Pseudocode algoritma ReliefF secara umum (Robnik-Sikonja dan Kononenko, 2003)

Perangkingan dilihat dari nilai bobot yang dihasilkan. Bobot terbesar menduduki rangking tertinggi. Perangkingan hanya diberikan pada lima parameter dengan rangking tertinggi. Software yang digunakan untuk *feature selection* dengan algoritma ReliefF ini adalah WEKA (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*) versi 3.6.4 (Weka, 2010)

Artificial Neural Network (ANN)

Artificial Neural Network (ANN) digunakan untuk menyeleksi parameter dielektrik dan kondisi rangkaian. ANN adalah model

matematika yang struktur dan fungsinya terinspirasi oleh organisasi dan fungsi otak manusia (Bila *et al.*, 1999). Algoritma pembelajaran yang digunakan adalah *backpropagation*. Arsitektur ANN *backpropagation* merupakan jaringan *perceptron* lapis jamak (*multilayer*). ANN ini memiliki lapisan masukan (*input layer*), lapisan tersembunyi (*hidden layer*) dan lapisan keluaran (*output layer*). Pembelajaran dalam *perceptron* terjadi dengan mengubah bobot koneksi setelah setiap elemen data diproses, yang diperoleh berdasarkan besarnya error dalam output dibandingkan dengan hasil peramalan. Proses ini dilakukan melalui *backpropagation*, yaitu sebuah generalisasi dari algoritma rata-rata kuadrat terkecil dalam *perceptron linear*.

Sebelum dilakukan desain model ANN, data mentah dinormalisasi karena skala data yang berbeda. Proses normalisasi ditransformasi dengan formula berikut (Siang, 2009) :

$$x' = \frac{0,8(x - a)}{b - a} + 0,1$$

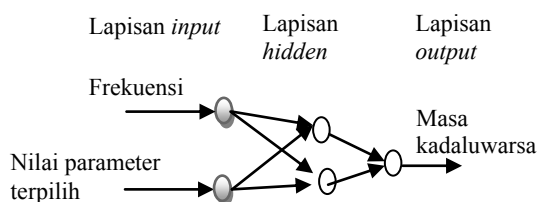
Dimana :

- a = data minimum
- b = data maksimum
- x = data mentah
- x' = data normalisasi

Untuk proses pembelajaran parameter yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1. Pada seleksi parameter dielektrik, variabel input yang digunakan adalah frekuensi dan parameter dielektrik terpilih pada kondisi rangkaian CC dan CV, sedangkan variabel outputnya (target) adalah masa kadaluarsa biskuit (wafer) (Gambar 3).

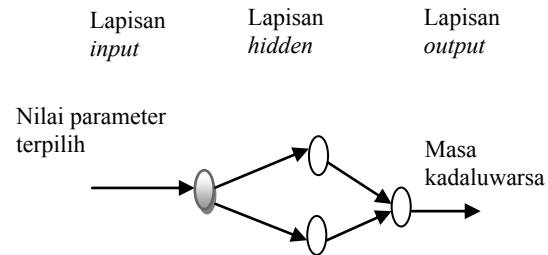
Tabel 1. Parameter pembelajaran pada ANN

No	Parameter	Nilai
1	Fungsi aktivasi <i>hidden layer</i>	<i>Tansig</i>
2	Fungsi aktivasi <i>output layer</i>	<i>Logsig</i>
3	Fungsi pembelajaran	<i>Trainlm</i>
4	Jumlah <i>hidden layer</i>	5 layer
5	Jumlah <i>node per hidden layer</i>	20 <i>node</i>
6	<i>Learning rate</i>	0,05
7	<i>Epoch</i>	1000
8	<i>Goal</i>	0,01



Gambar 3. Arsitektur JST untuk seleksi parameter dielektrik

Variabel input pada seleksi kondisi rangkaian adalah nilai parameter terpilih dari kondisi rangkaian CC atau CV, sedangkan variabel outputnya adalah masa kadaluarsa (Gambar 4). Untuk masing-masing seleksi, semua dataset ditraining dan dilihat nilai R dan MSE yang dihasilkan.



Gambar 4. Arsitektur JST untuk seleksi kondisi rangkaian

Perangkingan ditentukan berdasarkan parameter kinerja ANN yang dihasilkan. Parameter kinerja ANN yang dilihat adalah R dan MSE. R (koefisien korelasi) dilihat yang paling besar nilainya, sedangkan MSE (*Mean Square Error*) dilihat yang paling kecil (mendekati 0,01). Nilai R yang dipilih adalah yang berada di atas 0,60. Nilai ini menunjukkan korelasi antara variabel target aktual dan hasil prediksi adalah kuat. Artinya variabel input dan target aktual memiliki korelasi yang mampu menghasilkan nilai prediksi yang tepat. Nilai di bawah 0,60 menunjukkan korelasi variabel yang sedang sampai dengan lemah. Software yang digunakan untuk desain ANN adalah MATLAB 2010b (Mathworks, 2011).

Seleksi frekuensi

Seleksi frekuensi dilakukan secara grafis dengan melihat frekuensi yang mampu membedakan masa kadaluarsa secara baik pada dua range frekuensi (rendah dan tinggi). Frekuensi rendah dari 42 Hz-4721,13 Hz, sedangkan frekuensi tinggi 4721,13 Hz - 5MHz. Masa kadaluarsa wafer uji diambil yang paling ekstrim yaitu 170 dan 300 hari lagi.

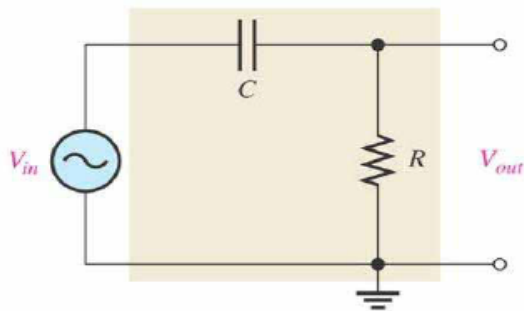
Pendekatan Rancangan Alat

Rancangan alat dibuat berdasarkan hasil seleksi parameter, kondisi rangkaian dan frekuensi terbaik yang diperoleh pada tahap sebelumnya. Rangkaian Resistor-Kapasitor (Gambar 5). Rangkaian RC ini adalah rangkaian listrik yang tersusun dari resistor dan kapasitor, sering disebut juga dengan istilah RC filter atau RC network.. Secara matematis tegangan keluaran rangkaian ini merupakan fungsi dari tegangan input, resistor dan kapasitor (persamaan dibawah ini (Lee, 2007)).

$$V_{out} = \left(\frac{R}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} \right) V_{in}$$

Dimana:

- V_{out} = tegangan keluar
- R = Resistor
- C = Capacitor
- X_c = reaktansi kapasitif
- V_{in} = tegangan masuk



Gambar 5. Rangkaian RC (Lee, 2007)

Rangkaian ini memanfaatkan perubahan nilai reaktansi suatu kapasitor. Nilai reaktansi kapasitor sangat tergantung pada frekuensi dari arus yang dilewatkan pada kapasitor tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Seleksi Parameter Dielektrik

Sifat dielektrik menggambarkan kemampuan suatu bahan untuk menyimpan, mentransmisikan dan memantulkan energi gelombang elektromagnetik. Aplikasinya dalam bidang pertanian didasarkan pada kemampuan bahan untuk menyerap radiasi elektromagnetik dan mengubahnya menjadi panas. Pada tingkat energi yang lebih rendah, sifat dielektrik dimanfaatkan untuk mengukur kadar air secara non-destruktif. Nilai dielektrik yang terukur secara kasar tidak mudah melihat kelinearan antar parameter, sehingga diperlukan pendekatan statistik dan non statistik untuk memudahkan. Regresi linier berganda, *feature selection* (ReliefF) dan ANN digunakan untuk memudahkan pembacaan. Tabel 2 menunjukkan korelasi parameter dielektrik wafer dengan masa kadaluwarsa pada frekuensi 42Hz-5MHz untuk 10 masa kadaluwarsa yang berbeda dengan beberapa pendekatan.

Phase adalah parameter yang berkorelasi sangat kuat dengan masa kadaluwarsa. Pada ketiga pendekatan, *Phase* selalu berada di urutan pertama atau kedua. Secara aplikatif, pengukuran *Phase* tidak terlalu mudah dilakukan. Sehingga parameter dielektrik yang dianggap paling berkorelasi dengan masa kadaluwarsa adalah Kapasitansi paralel (C_p). Kapasitansi paralel, pada ketiga pendekatan selalu berada pada rangking lima besar terutama pada ANN yang menunjukkan urutan pertama.

Tabel 2. Korelasi parameter dielektrik dengan masa kadaluwarsa wafer dengan regresi linier berganda, *feature selection* (ReliefF) dan *Artificial Neural Network* (ANN)

No	Parameter dielektrik	RLG		ReliefF		ANN		
		Sig ANOVA	Peringkat korelasi	Bobot (W)	Peringkat	R	MSE	Peringkat korelasi
1	Impedansi (Z)	0,010**	4	-0,00076	-	0,2807	0,0588	-
2	Modulus Young (Y)	0,070	-	-0,00057	-	0,6420	0,0376	4
3	<i>Phase</i>	0,000***	1	0,001277	1	0,6545	0,0365	2
4	Kapasitansi serial (C_s)	0,407	-	0,000063	5	0,3528	0,0559	-
5	Kapasitansi paralel (C_p)	0,001***	2	0,000149	4	0,7272	0,0347	1
6	<i>Displacement</i> (D)	0,000***	1	-0,00030	-	0,5914	0,0415	-
7	Induktansi serial (L_s)	0,001***	2	-0,00159	-	0,2502	0,0598	-
8	Induktansi paralel (L_p)	0,491	-	-0,00105	-	0,2019	0,0612	-
9	Muatan listrik (Q)	0,949	-	0,000267	3	0,6068	0,0403	5
10	Resistansi serial (R_s)	0,021**	5	-0,0012	-	0,4412	0,0514	-
11	Konduktansi (G)	0,009***	3	0,000035	-	0,5848	0,0420	-
12	Resistansi paralel (R_p)	0,501	-	0,000346	2	0,3076	0,0578	-
13	Kerentanan (X)	0,009***	3	-0,00072	-	0,4914	0,0484	-
14	Medan Induksi (B)	0,267	-	-0,00077	-	0,6473	0,0371	3

Keterangan :

- RLG = Regresi Linier Berganda;
- ANN = *Artificial Neural Network*
- Sig ANOVA = Signifikansi *Analysis of Variance* (***=Berkorelasi sangat kuat; **=Berkorelasi kuat; *=Berkorelasi);
- R = reaktansi kapasitif
- V_{in} = Koefisien korelasi
- W = Weight

Model regresi linier yang terbentuk adalah :

$$Y = 246,830 + 4,621 \times 10^{-12} X_1 + 0,230 X_2 + 9,931 \times 10^{-8} X_3 - 38,370 X_4 - 11159,018 X_5 - 3,9631 \times 10^{-6} X_6 + 1.068 \times 10^{-9} X_7 + 7,759 \times 10^{-12} X_8 + 1,747 \times 10^{-9} X_9 - 3,138 \times 10^{-12} X_{10} - 0,248 X_{11} + 2,980 \times 10^{-15} X_{12} - 4,026 \times 10^{-12} X_{13} - 0,139 X_{14}$$

Keterangan:

X1= Z; X2=Y; X3=Phase; X4=C_s; X5=C_p; X6=D; X7=L_s; X8= L_p; X9= Q; X10=R_s; X11=G; X12=R_p; X13=X; X14=B; Y=masa kadaluarsa

Hasil pengukuran Kapasitansi paralel pada masa kadaluarsa yang berbeda-beda diperlihatkan pada Gambar 6. Kapasitansi merupakan parameter dielektrik yang berkorelasi dengan masa kadaluarsa. Kapasitansi adalah kemampuan kapasitor untuk menyimpan energi dalam medan listrik. Diantara hal yang mempengaruhi variasi nilai kapasitansi adalah frekuensi (Toyoda, 2003). Hasil pengukuran yang diperoleh (Gambar 6) menunjukkan pada frekuensi yang semakin meningkat, nilai kapasitansi biskuit semakin menurun. Hal ini sesuai dengan hasil yang diperoleh Nelson (2008) pada beras dan tepung. Nilai konstanta dielektrik dan faktor kehilangan dielektrik dari beras dan tepung dari penelitian tersebut ditampilkan pada Gambar 7. Terlihat pada gambar tersebut, semakin tinggi frekuensi maka semakin rendah nilai konstanta dielektrik dan faktor kehilangan dielektrik dari beras dan tepung. Pada frekuensi yang semakin tinggi,

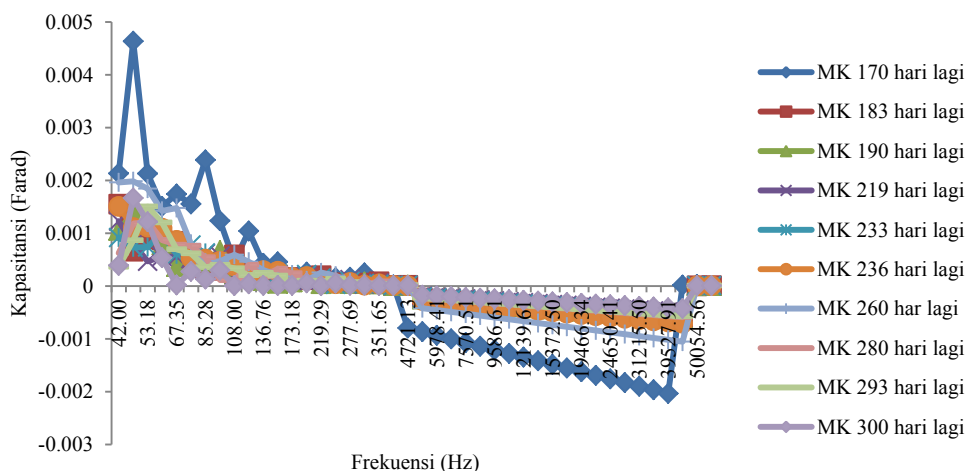
terjadi ionisasi yang membuat nilai kapasitansi semakin rendah.

Pendapat Nelson dan Trabelsi (2012) dan Sosa-Morales *et al.* (2010) menguatkan bahwa nilai dielektrik (diantaranya kapasitansi) cenderung dipengaruhi oleh frekuensi dan kadar air. Sehingga dengan meningkatnya frekuensi akan menurunkan nilai kapasitansi.

Secara umum dari Gambar 6 nilai kapasitansi biskuit dengan masa kadaluarsa masih lama, cenderung lebih rendah dengan biskuit yang memiliki masa kadaluarsa sudah dekat. Hal ini terkait dengan kandungan air yang dikandung, Pada biskuit yang masih lama kadaluarsanya, memiliki kandungan air yang lebih sedikit dibandingkan yang telah dekat kadaluarsanya. Sosa-Morales (2010) menyatakan bahwa peningkatan kadar air akan meningkatkan nilai dielektrik bahan. Ini artinya, nilai kapasitansi yang dihasilkan akan semakin meningkat.

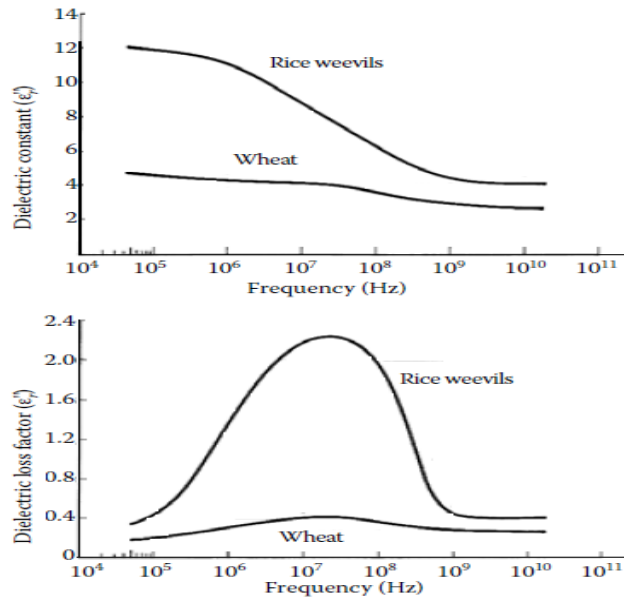
Seleksi Kondisi Rangkaian (CC dan CV)

Pengukuran nilai dielektrik di LCR-meter dilakukan pada rangkaian arus tetap (*CC-Constant Curent*) dan tegangan tetap (*CV-Constant Voltage*). Kedua kondisi rangkaian ini perlu dipilih, dengan menentukan tingkat korelasinya dengan masa kadaluarsa wafer. Regresi linier sederhana, *feature selection* (ReliefF) dan ANN digunakan untuk menyeleksi kondisi rangkaian ini. Tabel 3. menunjukkan korelasi CC dan CV dengan masa kadaluarsa wafer menggunakan beberapa pendekatan tersebut.



Keterangan:
MK=Masa Kadaluarsa

Gambar 6. Kapasitansi paralel pada masa kadaluarsa yang berbeda-beda



Gambar 7. Nilai dielektrik tepung dan beras dengan frekuensi yang berbeda pada suhu 25⁰C (Nelson, 2008)

Tabel 3. Korelasi CC dan CV dengan masa kadaluwarsa wafer dengan regresi linier sederhana

No	Parameter dielektrik	RLG	Relieff	ANN	
		(Sig ANOVA)	(W)	R	MSE
1	Arus tetap (CC)	0,006**	0,000356	68,55	0,0390
2	Tegangan tetap (CV)	0,540	0,000168	24,61	0,0691

Keterangan :

- RLG = Regresi Linier Berganda;
- ANN = *Artificial Neural Network*
- Sig ANOVA = Signifikansi *Analysis of Variance*(***=Berkorelasi sangat kuat; **=Berkorelasi kuat; *=Berkorelasi);
- R = reaktansi kapasitif
- V_{in} Koefisien korelasi
- W = Weight

Hasil seleksi menunjukkan CC adalah kondisi rangkaian yang berkorelasi dengan masa kadaluwarsa. Ketiga pendekatan menunjukkan nilai kinerja terbaik adalah pada kondisi rangkaian CC. Model regresi linier rangkaian CC, adalah:

$$Y = 237,548 - 10911,590X$$

Dimana:

- Y = masa kadaluwarsa
- X = rangkaian CC (*Current Constant*)

Seleksi Frekuensi

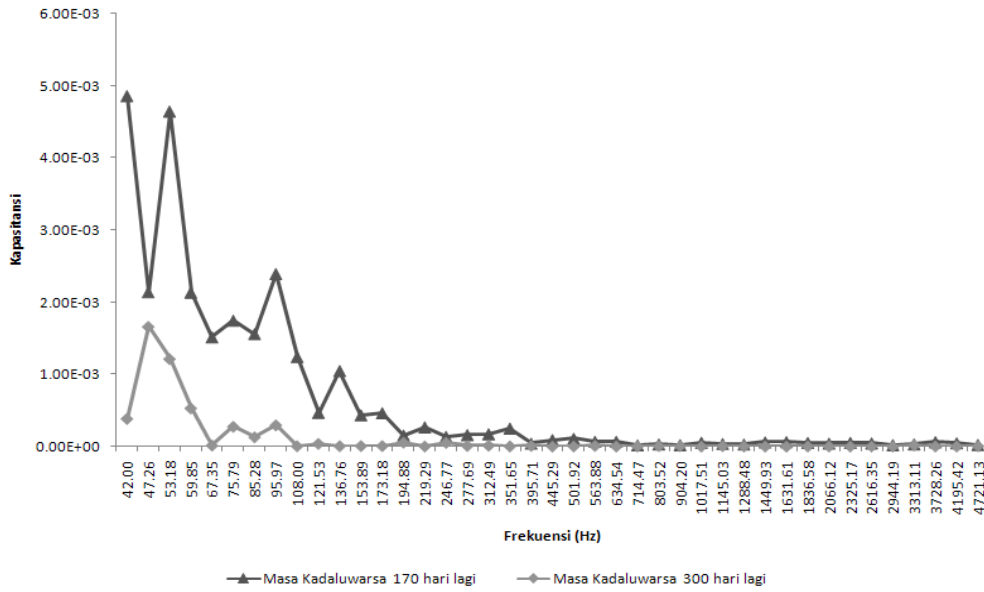
Frekuensi terbaik yang dapat membedakan masa kadaluwarsa berbeda diseleksi pada dua masa kadaluwarsa uji paling ekstrim. Masa kadaluwarsa 170 hari dan 300 hari yang dipilih. Gambar 8 dan

Gambar 9 memperlihatkan bahwa range terbaik yang masih dapat membedakan masa kadaluwarsa adalah range 42 Hz- 351,65 Hz (frekuensi rendah) dan range 4721,13 Hz – 50054,56 Hz (frekuensi tinggi).

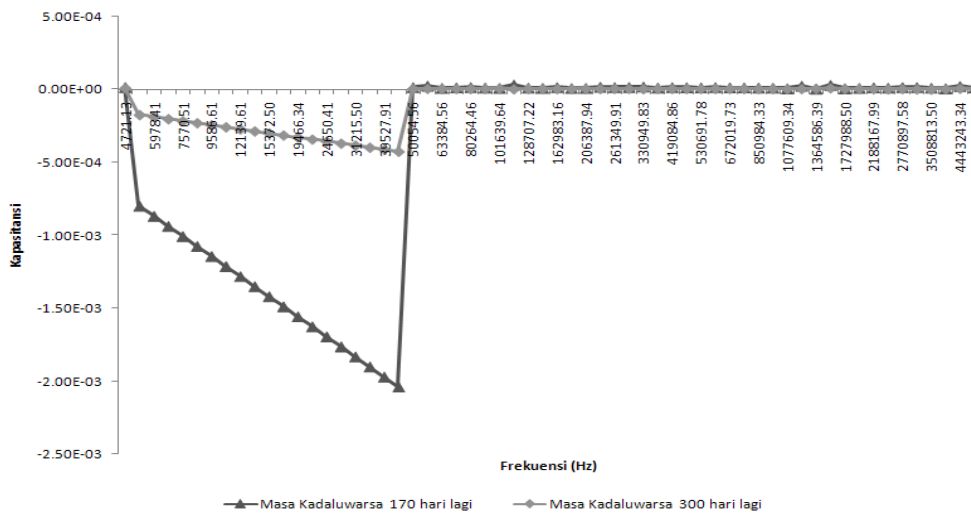
Pendekatan Rancangan Alat

Hasil pembacaan kadaluarsa diharapkan tepat, sehingga desain alat disesuaikan dengan hasil seleksi parameter sebelumnya. Pendekatan rancangan alat yang dianggap sesuai dengan hasil seleksi tersebut adalah rangkaian RC (Gambar 5).

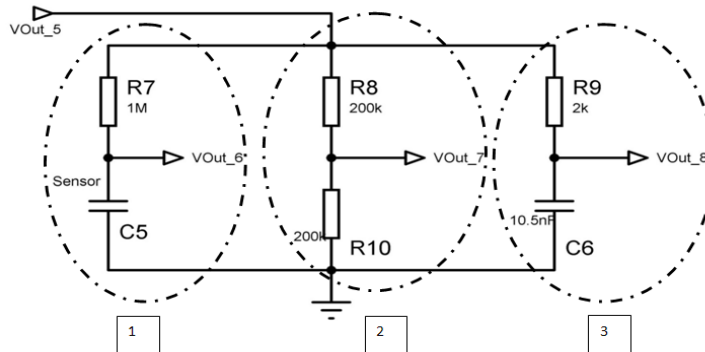
Adanya *noise* yang biasa terjadi pada sebuah rangkaian elektrik, maka nilai frekuensi tidak diset pada satu nilai. Frekuensi diset pada range 5 kHz – 6 kHz dengan C sebagai sensor pembaca sampel yang diuji. Sumber arus diset tetap. Secara detil, rangkaian alat dengan sensor C ini dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 8. Nilai kapasitansi paralel (C_p) wafer pada rentang frekuensi rendah (42 Hz - 4721,13 Hz)



Gambar 9. Nilai kapasitansi paralel (C_p) wafer pada rentang frekuensi tinggi (4721,13 Hz-5 MHz)



Gambar 10. Rangkaian alat dengan sensor Kapasitansi (C)

Rangkaian pada lingkaran 1 adalah rangkaian RC, dimana C disini adalah dua plat konduktor yang terpisah dan digunakan sebagai sensor. Jika diantara dua plat tersebut disisipkan sample yang berbeda-beda maka akan didapatkan nilai tegangan yang jatuh pada C5 akan berubah. Rangkaian pada lingkaran 2 adalah rangkaian Resistor yang nantinya digunakan untuk menghitung besarnya V_{in} (V_{out_5}). Sedangkan rangkaian pada lingkaran 3 adalah rangkaian RC yang nilai R dan C-nya sudah diketahui, rangkaian ini digunakan untuk menghitung frekuensinya inputan (frekuensi V_{out_5}). V_{out_5} adalah gelombang sin dengan frekuensi sekitar 5 kHz – 6 kHz.

Nilai kapasitansi dapat terukur dari persamaan berikut:

$$V_{Out_6} = \frac{1}{\sqrt{(2\pi f C_5 R_7)^2 + 1^2}} V_{Out_5}$$

Dengan diketahuinya nilai frekuensi (f), Resistor (R), Tegangan masuk (V_{in} atau V_{out_5}), maka dapat dihitung nilai C. Nilai C adalah nilai kapasitansi dari sampel yang diukur.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Parameter dielektrik terbaik untuk penentuan masa kadaluwarsa wafer adalah kapasitansi paralel (C_p). Rangkaian CC (*Constant current*) yang beroperasi pada frekuensi rendah 42 Hz- 351,65 Hz dan frekuensi tinggi 4721,13 Hz – 50054,56 Hz, terbaik untuk mendeteksi masa kadaluwarsa wafer. Hasil ini selanjutnya dijadikan dasar pendesainan alat ukur masa kadaluwarsa biskuit berbasis sifat dielektrik dengan metode rangkaian RC.

Saran

Dapat dicobakan untuk melihat korelasi beberapa variabel yang diseleksi sehingga memungkinkan digunakan dalam prediksi masa kadaluwarsa secara paralel.

DAFTAR PUSTAKA

Ames J. 2004. Operational Amplifiers: Basics and Design Aspects. www.uwf.edu/skamalasadnan/final.pdf [1 Mei 2013]
 [BPOM]. 2010. Audit BPOM : Makanan Kadaluwarsa Mayoritas Jenis Biskuit, Coklat & Permen. <http://www.detiknews.com/read/2010/09/05/095925/1435192/10/makanan-kadaluwarsa-mayoritas-jenis-biskuit-coklat-permen>. [7 Januari 2012].
 Berbert PA, Queiroz DM, Sousa EF, Molina MB, Melo EC, Faroni LRD. 2001. Dielectric

Properties of Parchment Coffee. *J Agric Eng Res*. 80(1):65-80.

- Bila S, Harkouss Y, Ibrahim M, Rousset J, N'Goya E, Baillargeat D, Verdeyme S, Aubourg M, Guillon P. 1999. An Accurate Wavelet Neural-Network-Based Model for Electromagnetic Optimization of Microwave Circuits. *Int J RF and Microwave Computer-Aided Eng*. 93: 297–306.
- Chen Y dan Donald AJ. 2000. An Empirical Study on Estimators for Linier Regression Analysis in Fisheries and Ecology. *Fish Res*. 49:193-206.
- Flores JD dan Gnanasekharan V. 1993. *Shelf Life Prediction of Packaged Foods: Chemical, Biological, Physical, and Nutritional Aspects*. G. Chlaralambous (Ed.). London: Elsevier Publ.
- Guo W, Tiwari G, Tang J, Wang S. 2008. Frequency, Moisture and Temperature-Dependent Dielectric Properties of Chickpea Flour. *Biosys Eng*. 101:217-224
- Harmen, Tambunan AH dan Sebastian Y. 2004. Rancang Bangun Alat Ukur Nilai Dielektrik pada Kisaran Frekuensi Radio untuk Bahan pertanian. Laporan Penelitian Hibah Bersaing Tahun 2004. Politeknik Negeri Lampung 2004.
- Ikediala, JN, Tang J, Drake SR, dan Neven LG. 2000. Dielectric Properties of Apple Cultivars and Codling Moth Larvae. *Transac ASABE J*. 43(5):1175-1184.
- Kira K dan Rendell LA. 1992a. Practical Approach to Feature Selection. Proceedings of the ninth international workshop on Machine learning (ML92) pada 1-3 Juli, 1992 di Aberden, California. Dipublikasikan oleh Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Mateo, California, 249-256.
- Kira K dan Rendell LA. 1992b. The Feature Selection Problem : Traditional Methods and a New Algorithm. Proceedings of Tenth National Conference on Artificial Intelligence. pada 12-16 July, 1992 di San Jose, California. Dipublikasikan oleh The AAAI Press, Menlo Park, California, 129-134.
- Kononenko I. 1994. Estimating attributes: analysis and extensions of Relief. Proceedings of European Conference on Machine Learning (ECML-94) pada 6-8 April, 1994 di Catania, Italy. Dipublikasikan oleh Springer Verlag, Italia, 171–182.
- Lee CY. 2007. RC Circuits. [*diacu 2013 Agustus 26*]. Tersedia dari : http://www.isu.edu.tw/upload/52/35/files/dept_35_lv_2_4168.pdf [1 Mei 2013].

- Liu Y, Tang J, dan Zhihuai M. 2009. Analysis of Bread Dielectric Properties using Mixture Equations. *J Food Eng.* 93:72-79.
- Li X, Zyuzin AS dan Mamishev AV. 2003. Measuring Moisture Content in Cookies Using Dielectric Spectroscopy. *Proceedings of The 2003 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP) pada 19-22 October, 2003 di Albuquerque, NM, USA* dipublikasikan oleh IEEE, USA, 459-462.
- Mathworks. 2011. MATLAB Release 2010b. <http://www.mathworks.com>. [12 April 2013].
- Nelson SO. 2008. Dielectric Properties of Agricultural Products and Some Applications. *Res Agr Eng.* 54 (2): 104-112.
- Nelson SO dan Trablesi S. 2012. Factors Influencing the Dielectric Properties of Agricultural and Food Products. *J Microwave Power and Electromagnetic Energy* 46 (2) :93-107.
- Siang JJ. 2009. *Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrograman Menggunakan Matlab*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Siripatrawan U, Linz J, dan Harte BR. 2004. Rapid Method For Prediction of Escherichia Coli Numbers Using an Electronic Sensor Array and an Artificial Neural Network. *J Food Protection* 67:1604-1609.
- Sosa-Morales ME, Valerio-Junco L, López-Malo A, García HS. 2010. Dielectric Properties of Foods: Reported Data in the 21st Century and Their Potential Applications. *LWT - Food Sci Technol.* 43:1169-1179.
- SPSS. 2007. SPSS Statistics Base 16.0 User's Guide. <http://www.spss.com> [12 April 2013].
- Toyoda K. 2003. The Utilization of Electric Properties. In: Sumio K. (Ed). *The Handbook Of Non-Destructive Detection*. Tokyo: Science forum.
- Weka. 2010. Waikato Environment for Knowledge Analysis. <http://www.cs.waikato.ac.nz/~ml/weka/> [1 Mei 2011].
- Wang SJ, Tang JA, Johnson E, Mitcham JD, Hansen G, Hallman, Drake SR, Wang Y. 2003. Dielectric Properties of Fruits and Insect Pests as Related to Radio Frequency and Microwave Treatments. *Biosystems Eng.* 85(2): 201-212.