

Sifat Listrik Telur Ayam Kampung Selama Penyimpanan

Electrical Properties of Native Chicken Eggs During Storage

J. Juansah *, Irmansyah & Kusnadi

Divisi Biofisika dan Fisika Terapan, Departemen Fisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor
Jln. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680
(Diterima 12-11-2008; disetujui 19-02-2009)

ABSTRACT

Study on eggs properties, based on electrical measurement (conductance and capacitance) was carried out using alternating current signal on frequency variation from 10 Hz to 100 kHz. The electrical properties correlated to physical properties of eggs i.e haugh unit, pH and viscosity. The albumen and yolk of native eggs, which were placed in the cell system from acrylic and electrode plate conductor of cuprum, were used as samples. Hi LCR Tester Hioki with dual probe (modified from four probes) was used to measure electrical properties of samples. This equipment was provided with fixed current source but varies in frequency. The conductance of yolk and albumen increased exponentially if frequency signal was boosted up. The electrical conductance range of albumen was higher than yolk on all frequencies. The capacitance property decreased if frequency signal was boosted up. The decrease was exponential especially at frequency under 100Hz. The albumen capacitance was lower than yolk. The viscosity of yolk and albumen during storage was decreasing. The value of pH was not affected. The pH of albumen was between 9 and 10, and yolk was about 6. Multiple regression method was used to get empiric equation of electrical conductance, capacitance, HU and viscosity. The best correlation between electrical parameter and physical properties is conductance equation of HU and viscosity at 1 kHz.

Key words: electrical properties, conductance, capacitance, native chicken, egg

PENDAHULUAN

Telur ayam adalah salah satu bahan makanan yang banyak dikonsumsi sebagai bahan sumber gizi, ramuan obat maupun bahan

industri. Telur mengandung air sekitar 73,6%, protein 12,8%, lemak 11,8%, karbohidrat 1,0% dan komponen lainnya 0,8%. Struktur fisiknya terdiri atas kerabang telur sekitar 11%, putih telur sekitar 57% dan kuning telur sekitar 32% (Romanoff & Romanoff, 1963). Putih telur mengandung protein ovalbumin, ovomukoid, ovomusin, ovokonalbumin, ovoglobulin dan protein antimikroba lisozim yang memperlambat proses kerusakan. Putih telur tersebut

* Korespondensi:
Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor
Jln. Meranti, Kampus IPB Darmaga Bogor 16680
Telp. 0251-8625728, e-mail: j_juansah@ipb.ac.id

terdiri atas lapisan encer bagian luar 23,3%, lapisan kental bagian tengah 57,3%, lapisan encer bagian dalam 16,8% dan lapisan membran kalazifera 2,7% (Stadelman & Cotterill, 1995), sedangkan kuning telur mengandung protein ovovitelin dan ovovitelin.

Telur selama penyimpanan akan mengalami perubahan kualitas. Perubahan tersebut diantaranya warna kulit agak keruh dan ada bintik-bintik hitam, adanya penguapan air dan CO₂, pembesaran ruang udara, penurunan berat jenis, pemecahan protein, perubahan posisi kuning telur, pengendoran selaput pengikat kuning telur, kenaikan pH putih telur, dan penurunan kekentalan (Winarno & Koswara, 2002). Faktor kualitas telur bagian luar meliputi bentuk, warna kulit, tekstur permukaan kulit, keutuhan, dan kebersihan kulit. Faktor kualitas bagian dalam meliputi keadaan rongga udara, kekentalan putih telur, warna kuning telur, posisi kuning telur, *haugh unit* (HU) dan ada tidaknya noda-noda bintik darah (North & Bell, 1990).

Tinjauan kualitas telur tidak bisa lepas dari karakterisasi dan pengujian sifat dasar dari bahan penyusunnya. Pengujian kualitas internal telur secara kimia sudah banyak dilakukan, namun secara listrik belum, sehingga dirasakan begitu pentingnya kajian sifat listrik dari produk peternakan, seperti telur ayam kampung.

Setiap bahan memiliki sifat listrik yang khas dan besarnya sangat ditentukan oleh kondisi internal bahan tersebut, seperti momen dipol listrik, komposisi bahan kimia, kandungan air, keasaman dan sifat internal lainnya (Hermawan, 2005). Sifat listrik bahan yang diberikan arus listrik secara mikroskopik terkait dengan mobilitas listrik atau penyeragaman arah dipol listriknya akibat gangguan listrik eksternal (Kumar *et al.*, 2007). Kemampuan penyeragaman momen dipol merupakan ciri khas dari molekul-molekul yang berkorelasi terhadap sifat-sifat dielektrik, fisiko-kimia dan biologis (Harmen, 2001). Pemanfaatan sifat ini cenderung semakin banyak diterapkan di bidang pertanian. Aplikasinya didasarkan pada kemampuan bahan untuk menyerap radiasi gelombang elektromagnetik dan mengubah-

nya menjadi panas (Frenske & Mirsa, 2000). Pietruszewski *et al.* (2007) telah memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sebagai metode tidak merusak untuk merangsang pertumbuhan biji. Kajian dielektrik dapat dimanfaatkan untuk pengukuran kadar air secara non destruktif pada level energi yang rendah (Kato, 1997), maupun pengukuran bahan komposit (Chen *et al.*, 2003).

Skierucha *et al.* (2004) telah menerapkan metode pengukuran sifat listrik pada frekuensi tinggi untuk penentuan nilai dielektrik dengan memanfaatkan sensor TDR dan kabel *coaxial*. Pengukuran sifat listrik dengan sinyal frekuensi rendah juga telah dilakukan oleh Stacheder (2005) untuk menguji keterkaitan dielektrikum dengan kadar air dan densitas dari salju. Sementara itu, Bamelis *et al.* (2008) melakukan pengukuran konduktansi listrik membran telur menggunakan teknik akustik dan Krupka *et al.* (2001) mengukur sifat listrik yang terkait dengan permitivitasnya. Bahkan pengukuran sifat listrik telah dikembangkan dalam bentuk mesin dan robotik untuk tomografi optik (Zara *et al.*, 2003).

Tujuan utama penelitian ini adalah kajian perubahan sifat kapasitansi listrik (C) yang merupakan kajian dielektrikum bahan dan konduktansi listrik (G) selama penyimpanan. Besaran listrik tersebut dapat dikorelasikan dengan besaran fisis lain, seperti HU, pH dan viskositas sebagai pembanding dalam perubahan kualitas. Kajian besaran listrik ini diharapkan dapat menghasilkan suatu keteraturan perubahan kualitas telur ayam kampung selama penyimpanan yang dapat dijadikan dasar pengembangan teknologi. Tinjauan di atas akan memberikan informasi alternatif tentang sifat-sifat listrik yang dapat dimanfaatkan sebagai karakterisasi dasar dan penentuan kualitas telur ayam selama penyimpanan.

MATERI DAN METODE

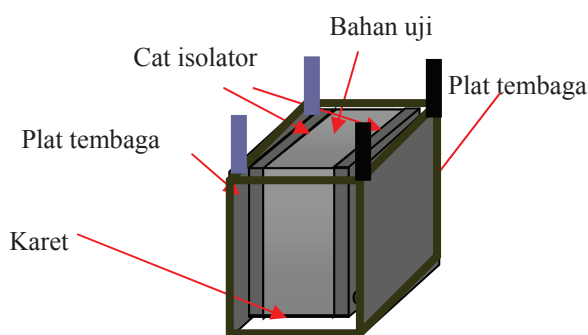
Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah telur ayam kampung yang ukurannya relatif sama dari induk satu kandang. Telur dipecahkan, lalu kuning dan putih

telurnya dipisahkan untuk diukur sifat-sifatnya. Pengukuran pertama dilakukan pada selang waktu kurang dari 24 jam sejak telur keluar dari induknya (hari ke-0). Beberapa telur ayam kampung utuh disimpan pada ruangan terbuka selama dua minggu. Selama waktu penyimpanan itu dilakukan pengukuran setiap dua hari penyimpanan selama dua minggu. Pengukuran meliputi kapasitansi, konduktansi listrik, HU, pH dan viskositas yang dilakukan secara serempak satu hari. Setiap pengukuran dilakukan ulangan dan diambil nilai rata-ratanya sebagai informasi data yang dipakai. Selain itu dilakukan penentuan korelasi regresi linier berganda dengan bantuan software SPSS.

Alat utama yang digunakan untuk mengukur besaran listrik adalah LCR Hitester 2522-50 yang menggunakan metode empat elektroda titik yang digabung jadi dua terminal, satu sebagai sumber arus dan satu lagi sebagai pembaca. Selain itu, digunakan beberapa alat pengukuran lain seperti Russell RL060 P *portable* pH meter, viskometer kapiler, viskometer Gilmont, neraca analitik dan beberapa alat bantu.

Pengukuran listrik menggunakan wadah yang sekaligus digunakan sebagai sel uji yang di dalamnya disisipkan plat elektroda tembaga pada dua sisi yang berhadapan dan terpisah sejauh 1,3 mm (Tipler, 2001). Sel uji berupa kotak persegi panjang dengan dimensi 8 cm x 9 cm x 0,127 cm (Gambar 1). Sebagai kalibrasi sel uji maka dilakukan pada bahan udara dan telah berhasil sesuai dengan standar literatur nilai dielektriknya, yaitu 1,00.

Karakteristik listrik pada bahan bisa dianalisa dengan pendekatan rangkaian elektronik antara resistor dan kapasitor secara paralel (Prodan *et al.*, 2008). Prinsip analisis rangkaian ini digunakan pada peralatan LCR Hi tester tersebut. Nilai dielektrikum dan kelistrikan bahan ada yang bersifat nonlinier (Zhou & Boggs, 2001) sehingga diperlukan pengukuran dengan alat yang bisa meminimalkan fenomena tersebut. Sumber arus tetap digunakan pada penelitian ini sehingga kondisi sumber sinyal listrik tidak terganggu oleh kondisi bahan uji (Walter *et al.*, 1998; Ron *et al.*, 2001).



Gambar 1. Sel uji bahan untuk pengukuran listrik

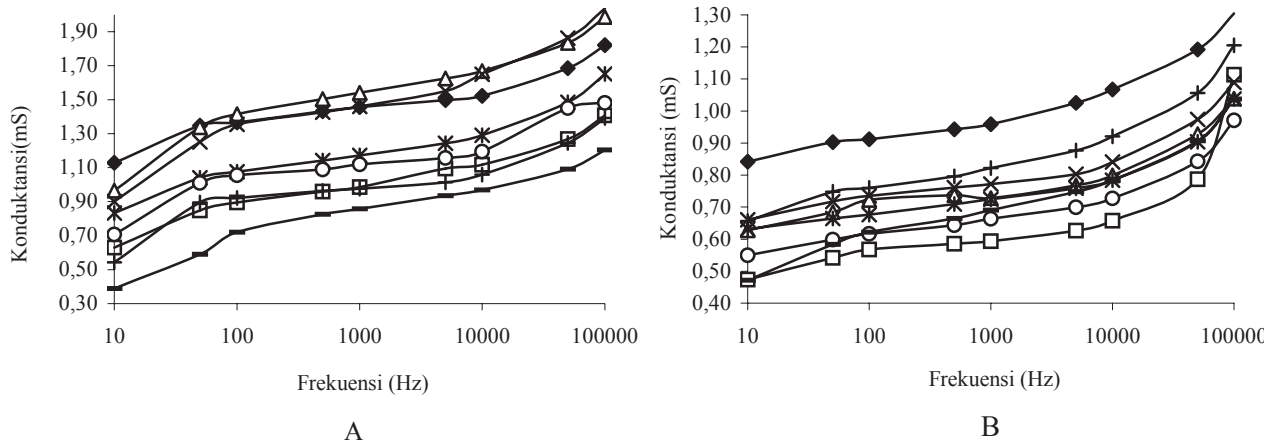
Jika frekuensi sumber tegangan diubah-ubah maka bahan isolator atau dielektrik yang disisipkan antara dua plat elektroda akan terganggu. Hal ini tergantung pada sifat bahan untuk mensejajarkan diri dengan medan listrik luar (Juansah & Irmansyah, 2007), sehingga dalam penelitian ini dilakukan variasi frekuensi sumber arus dari 10 Hz sampai 100 kHz sesuai dengan kemampuan alat (Agilent Technologies, 2006).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Spektrum Konduktansi Listrik Selama Penyimpanan

Nilai konduktansi bagian putih maupun kuning telur meningkat dengan besarnya frekuensi yang diberikan untuk semua waktu penyimpanan (Gambar 2). Frekuensi yang bertambah besar akan meningkatkan pergerakan muatan dan ion-ion dalam bahan telur, sementara bahan telur bisa mengikuti perubahan tersebut dengan mobilitas yang meningkat sehingga nilai konduktansinya meningkat.

Konduktansi listrik selama penyimpanan putih telur menunjukkan bahwa konduktansi menurun dari segar sampai dua hari penyimpanan, kemudian pada empat hari penyimpanan meningkat lagi yang seterusnya akan turun dengan konsisten seiring dengan semakin lama penyimpanan. Penurunan secara drastis pada hari kedua merupakan penyimpangan yang terjadi akibat perubahan mikroskopis dalam



Gambar 2. Spektrum konduktansi listrik dari putih (A) dan kuning (B) telur dengan variasi lama penyimpanan (\blacklozenge = hari ke-0, \square = hari ke-2, \triangle = hari ke-4, \times = hari ke-6, $*$ = hari ke-8, \circ = hari ke-10, $+$ = hari ke-12, $-$ = hari ke-14) pada frekuensi yang berbeda.

telur. Secara keseluruhan pada putih telur konduktansi listrik menurun dengan semakin lamanya penyimpanan. Hal ini berarti konsentrasi ion yang dapat menghantarkan listrik berkurang selama penyimpanan. Penurunan ion-ion ini disebabkan oleh penguapan air pada putih telur dan aktivitas mikroba yang masuk. Hal ini menyebabkan mobilitas ion dalam bahan berkurang dan bahan cenderung bersifat isolator.

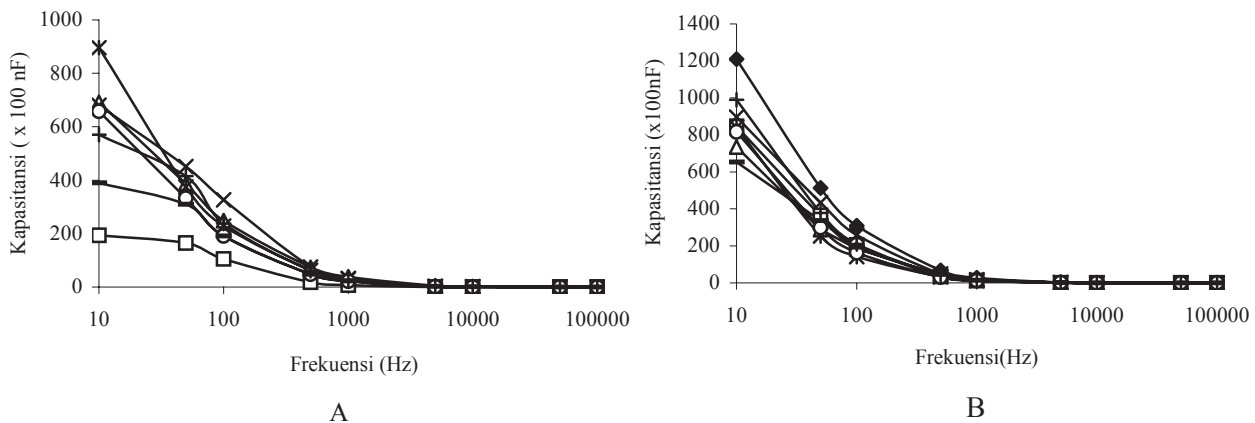
Gambar 2 memperlihatkan bahwa konduktansi listrik kuning telur menurun setelah disimpan selama dua hari untuk semua variasi frekuensi, kemudian naik sedikit pada hari keempat. Nilainya relatif stabil setelah 4-10 hari, kemudian peningkatan terjadi lagi pada 12 hari penyimpanan. Kenaikan ini diakibatkan adanya ion-ion yang berdifusi dari putih telur. Konduktansi listrik pada kuning telur tidak begitu mengalami perubahan yang signifikan dibandingkan dengan putih telur. Hal ini disebabkan kuning telur mempunyai posisi yang terlindungi oleh putih telur. Kandungan air yang lebih sedikit dibandingkan dengan putih telur membuat kuning telur tidak cepat rusak.

Pengukuran konduktansi listrik untuk setiap frekuensi mempunyai respon yang teratur, yaitu perubahan nilai yang terjadi teramati dengan jelas terhadap lama penyimpanan. Frekuensi rendah maupun frekuensi

tinggi bisa dijadikan pilihan untuk pengukuran konduktansi listrik. Pengukuran konduktansi, baik pada frekuensi rendah, maupun frekuensi tinggi, mempunyai perilaku yang sama untuk putih telur yaitu mengalami penurunan dengan bertambahnya lama penyimpanan. Frekuensi tinggi menyebabkan proses perubahan arah pergerakan muatan pada plat elektroda berjalan dengan cepat sementara tingkat penyesuaian bahan telur terhadap kondisi ini tinggi sehingga konduktansi meningkat. Energi yang ditransmisikan banyak diserap oleh bahan telur yang ada di dalam plat ketika frekuensi arus tinggi. Hal ini memacu muatan terpolarisasi dengan cepat, resistensi yang terjadi pada bahan telur kecil dan kemampuan untuk menghantarkan listriknya makin besar.

Spektrum Kapasitansi Listrik Selama Penyimpanan

Gambar 3 menunjukkan bahwa pada frekuensi rendah, yaitu 10, 50 dan 100 Hz, perubahan kapasitansi selama penyimpanan memiliki perbedaan nilai yang besar, sedangkan pada frekuensi tinggi nilai kapasitansi relatif tidak mengalami perubahan. Keberadaan putih dan kuning telur diantara keping elektroda sejajar dapat menyebabkan lemahnya medan listrik diantara keping elektroda sehingga kapa-



Gambar 3. Spektrum kapasitansi listrik dari putih (A) dan kuning (B) telur dengan variasi lama penyimpanan (\blacklozenge = hari ke-0, \square = hari ke-2, \triangle = hari ke-4, \times = hari ke-6, $*$ = hari ke-8, \circ = hari ke-10, $+$ = hari ke-12, $-$ = hari ke-14) pada frekuensi yang berbeda.

sitasinya naik. Lemahnya medan listrik antara keping elektroda disebabkan adanya medan listrik internal dalam bahan yang arahnya berlawanan dengan medan listrik luar.

Kapasitansi putih telur cenderung berkurang selama penyimpanan, kecuali pada hari kedua terjadi penurunan yang nyata dibandingkan dengan yang lainnya. Penurunan pada hari kedua dapat disebabkan adanya perubahan sifat biologis dari putih telur (Gambar 3). Penurunan kapasitansi terlihat mencolok pada frekuensi 10 Hz terutama setelah enam hari penyimpanan, sedangkan pada frekuensi tinggi penurunan yang terjadi tidak terlalu nyata. Penurunan ini berhubungan dengan perubahan telur selama penyimpanan yang salah satunya disebabkan penguapan H_2O , yang berarti mengurangi kadar air yang terdapat pada putih telur yang merupakan penyusun terbesar putih telur. Hal ini didukung dengan ukuran pori telur yang semakin besar.

Nilai kapasitansi kuning telur untuk frekuensi rendah mengalami perubahan secara fluktuatif selama penyimpanan. Kapasitansi menurun selama rentang penyimpanan empat hari dan pada hari keenam naik kembali yang selanjutnya turun seperti ditunjukkan Gambar 3. Nilai kapasitansi selama penyimpanan relatif stabil pada frekuensi tinggi. Hal ini dikarenakan kuning telur selama rentang penyimpanan 14 hari tidak terlalu mengalami perubahan

yang besar. Posisi kuning telur yang berada di tengah dan terlindungi oleh putih telur membuat kuning telur tidak terlalu banyak terpengaruh udara luar selama penyimpanan.

Secara keseluruhan untuk putih dan kuning telur kapasitansinya menurun dengan naiknya frekuensi. Frekuensi berpengaruh terhadap bahan itu sendiri, yaitu dengan naiknya frekuensi maka semakin banyak gelombang yang ditransmisikan tiap detiknya. Sebelum kapasitor terisi penuh muatan, arah arus listrik sudah berbalik sehingga terjadi pengosongan muatan pada plat elektroda kapasitor dengan cepat yang mengakibatkan muatan dalam kapasitor semakin berkurang dan kemampuan kapasitor untuk menyimpan muatan semakin kecil. Sementara bahan telur yang disimpan diantara dua plat tersebut dapat dikatakan memiliki kemampuan penyesuaian yang baik dengan kondisi plat elektroda. Sejalan dengan sifat konduktansi yang meningkat, berakibat pula pada daya simpan muatan yang rendah. Hal ini ditunjukkan dengan kapasitansi bahan yang menurun.

Densitas muatan pada permukaan bahan disebabkan oleh pergeseran muatan-muatan molekuler di sekitar permukaan elektroda akibat medan listrik luar yang menimbulkan polaritas. Nilai densitas muatan neto yang terkandung dalam bahan telur lebih rendah daripada densitas muatan bebas yang terdapat

pada keping elektroda. Menurunnya densitas muatan dalam bahan akibat penguapan selama penyimpanan ditandai dengan adanya penurunan kapasitansi. Hal ini membuat medan listrik total bahan menjadi besar. Medan listrik bahan ini berbanding terbalik dengan konstanta dielektrik, dengan demikian putih telur mengalami penurunan nilai konstanta dielektrik selama penyimpanan akibat penguapan H₂O (Ragni *et al.*, 2007).

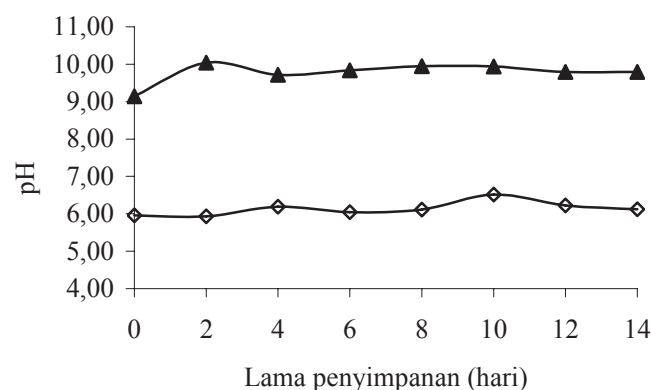
Korelasi Sifat Listrik dan Sifat Fisik Telur

Pengukuran tingkat keasaman selama penyimpanan, baik kuning maupun putih telur, memiliki nilai yang berbeda (Gambar 4). Nilai pH untuk putih telur segar berada pada kisaran 9,1. Nilai pH putih telur mengalami kenaikan hingga sekitar pH 10 pada hari kedua, selanjutnya untuk lama penyimpanan empat hari kembali pada kisaran nilai 9, berikutnya mengalami kenaikan, tetapi tidak besar. Kuning telur segar mempunyai nilai pH pada kisaran 5,9. Nilai pH naik menjadi 6,19 pada hari kedua, hari keempat pH sekitar 6, selanjutnya dengan makin lama penyimpanan pH mengalami kenaikan. Peningkatan pH selama penyimpanan disebabkan penguapan H₂O dan CO₂ pada telur. Penguapan CO₂ dari dalam telur diakibatkan oleh senyawa NaHCO₃ yang terurai menjadi NaOH, kemudian NaOH akan terurai kembali menjadi ion-ion Na⁺ dan OH⁻ sehingga nilai pH meningkat (Silverside & Scott, 2000).

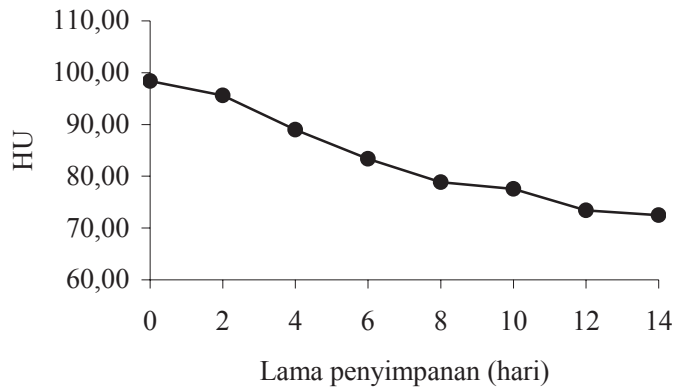
Larutnya CO₂ dalam putih telur disebabkan adanya garam-garam natrium dan kalium bikarbonat yang membentuk suatu sistem buffer. Hilangnya CO₂ melalui pori-pori kerabang telur menyebabkan perubahan konsentrasi ion dalam putih telur dan menyebabkan rusaknya sistem buffer. Terjadinya proses tersebut menyebabkan putih telur menjadi basa dan diikuti oleh kerusakan fisiko-kimia serabut-serabut ovomusin yang berbentuk jala (Romanoff & Romanoff, 1963). Peningkatan pH menimbulkan kerusakan serabut-serabut protein pembentuk membran vitelin kuning telur.

Nilai HU mengalami penurunan yang konsisten dari hari ke hari selama penyimpanan (Gambar 5). Penurunan nilai HU terjadi seiring bertambah lamanya penyimpanan, hal ini berhubungan dengan sifat fisik lainnya seperti pH. Saat pH putih telur mengalami kenaikan, akan terjadi interaksi antara ovomusin dengan lisozim yang menyebabkan ketinggian albumen berkurang dengan bertambah lamanya penyimpanan. Semakin rendah nilai HU berarti kualitas telur makin rendah.

Ovomusin merupakan struktur berfase gel yang menyebabkan albumen lebih kental. Kerusakan jala-jala ovomusin mengakibatkan air dari protein putih telur keluar dan putih telur menjadi encer. *Haugh unit* mempunyai korelasi dengan kandungan ovomusin dalam telur. Telur-telur dengan albumen kental mempunyai nilai HU yang tinggi yang berarti mempunyai albumen tinggi. Telur yang kondisinya seperti itu dikatakan telur berkualitas (Wahju, 1997).



Gambar 4. Perubahan nilai pH putih (♦) dan kuning (▲) telur selama penyimpanan



Gambar 5. Perubahan nilai HU telur selama penyimpanan

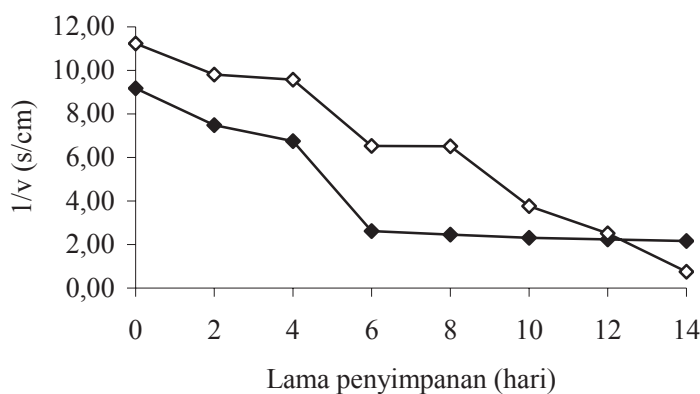
Gambar 6 menunjukkan bahwa perubahan viskositas putih telur dalam rentang penyimpanan sampai enam hari mengalami penurunan yang curam, sementara setelah itu relatif tetap. Penurunan viskositas ini disebabkan oleh adanya proses pembentukan senyawa ovomisin-lisozim pada putih telur yang membuat putih telur menjadi encer (Stadelman & Cotterill, 1995). Kuning telur mengalami penurunan viskositas selama penyimpanan lebih lambat dibandingkan dengan putih telur, yang disebabkan karena kuning telur tidak mempunyai protein musin. Berubahnya putih telur menjadi encer selama penyimpanan berpengaruh terhadap kondisi kuning telur. Air yang terlepas dari protein putih telur akan berdifusi ke dalam kuning telur sehingga kuning telur membesar dan mengalami penurunan viskositas (Winarno & Koswara, 2002). Selain dipengaruhi oleh

proses kimiawi yang terjadi pada putih telur, turunnya viskositas juga dipengaruhi oleh suhu penyimpanan, namun dalam hal ini suhu relatif stabil pada kisaran 30 °C.

Sifat listrik dengan sifat fisis akan saling berkorelasi yang berguna dalam penentuan sensitivitas alat yang akan dipakai dan penentuan perhitungan-perhitungan fisis seperti HU dan koefisien viskositas. Sementara nilai pH tidak mengalami perubahan yang besar selama penyimpanan sehingga tidak disertakan dalam pembuatan korelasinya. Korelasi kapasitansi putih telur terhadap HU dan viskositas (η) menunjukkan tingkat kelinieran ($R=0,720$) yang paling baik pada frekuensi 10 kHz dengan persamaan:

$$C_{\text{putih_telur}} = 5,4 \times 10^{-3} H + 2,2 \times 10^{-1} \eta - 3 \times 10^{-3} \dots\dots\dots 1$$

Persamaan 1 mengandung arti bahwa kapasi-



Gambar 6. Perubahan viskositas selama penyimpanan untuk putih (♦) dan kuning (◇) telur

tansi putih telur mempunyai korelasi positif terhadap HU maupun viskositas. Ketika nilai kapasitansi turun maka HU dan viskositas juga mengalami penurunan.

Korelasi konduktansi listrik putih telur terhadap HU dan viskositas mempunyai derajat kelinieran ($R=0,660$) yang tinggi pada frekuensi 50 Hz dengan persamaan:

$$G_{\text{putih_telur}} = -1,1 \times 10^{-4} H + 1,2 \times 10^{-3} \eta + 1036479 \dots 2$$

Konduktansi listrik putih telur secara parsial mempunyai korelasi negatif dengan HU. Namun demikian hasil regresi linier berganda tidak bisa dipandang secara parsial karena konduktansi listrik tergantung pada HU viskositas secara bersamaan. Berdasarkan persamaan 2, nilai orde yang dimiliki oleh HU lebih kecil dibandingkan viskositas. Perubahan nilai HU yang terjadi tidak terlalu berpengaruh terhadap konduktansi listrik dibandingkan perubahan nilai viskositas.

Secara keseluruhan kapasitansi kuning telur tidak mengalami perubahan yang nyata sehingga korelasi dengan sifat fisis tidak memiliki derajat linieritas yang tinggi (Persamaan 3). Derajat kelinieran tertinggi ($R=0,754$) dicapai pada frekuensi 10 Hz yang merupakan frekuensi terendah dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_{\text{kuning_telur}} = 5,9 \times 10^{-6} H + 6,1 \times 10^{-6} \eta - 40525 \dots 3$$

Persamaan 3 menunjukkan bahwa apabila HU dan viskositas kuning telur menurun, artinya terdapat penurunan kualitas, maka kapasitansi dari kuning telur berbanding lurus dengan sifat fisis tersebut.

Korelasi konduktansi listrik kuning telur terhadap HU dan viskositas kuning telur dinyatakan dalam persamaan:

$$G_{\text{kuning_telur}} = 4,1 \times 10^{-5} H - 8 \times 10^{-5} \eta + 531252 \dots 4$$

Persamaan 4 menunjukkan bahwa konduktansi berbanding lurus dengan HU dan mempunyai korelasi negatif dengan viskositas kuning telur. Derajat kelinieran tertinggi ($R=0,812$) terjadi pada frekuensi 1 kHz.

KESIMPULAN

Pemberian frekuensi sumber listrik yang meningkat pada kuning telur maupun putih telur menyebabkan konduktansi listrik meningkat, sementara kapasitansi listrik menurun secara eksponensial. Nilai konduktansi listrik untuk putih telur lebih tinggi daripada kuning telur untuk semua frekuensi. Semakin lama waktu penyimpanan, nilai kapasitansi dan konduktansi listrik putih telur mengalami penurunan. Sifat listrik kuning telur selama penyimpanan tidak berubah banyak bila dibandingkan putih telur. Korelasi yang cukup berarti antara sifat listrik dan fisik ditunjukkan dengan persamaan konduktansi listrik kuning telur terhadap HU dan viskositas pada frekuensi 1 kHz.

DAFTAR PUSTAKA

- Agilent Technologies, Inc, 2006.** Agilent Basics of Measuring the Dielectric Properties of Materials,. USA, <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-2589EN.pdf> [24 juni 2008]
- Bamelis, F.R., B. De Ketelaere, K. Mertens, B.J. Kemps, E.M. Decuypere & J.G. De Baerdemaeker.** 2008. Measuring the conductance of eggshells using the acoustic resonance technique and optical transmission spectra. *Comput. Electron. Agr.* 62: 35–40.
- Chen, Ang, Zhi Yu, Ruyan Guo & A. S. Bhalla.** 2003. Calculation of dielectric constant and loss of two-phase composites. *J. Appl. Phys.* 93:3475-3480
- Frenske, K. & D. Mirsa.** 2000. Dielectric materials at microwave frequencies. *Appl. Microw. Wireless.* 12:92-100.
- Harmen.** 2001. Rancang bangun alat dan pengukuran nilai sifat dielektrik bahan pertanian pada kisaran frekuensi radio. Tesis. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Hermawan, B.** 2005. Monitoring kadar air tanah melalui pengukuran sifat dielektrik pada lahan jagung. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia* 7:15-22.
- Juansah, J. & Irmansyah.** 2007. Kajian sifat dielektrik buah semangka dengan pemanfaatan sinyal listrik frekuensi rendah. *J. Sains MIPA.* 13:156-164.

- Kato, K.** 1997. Electrical density sorting and estimation of soluble solids content of watermelon. *J. Agric. Engng. Res.* 67:161-170.
- Krupka, J., A.P. Gregory, O.C. Rochard, R.N. Clarke, B. Riddle & J. Baker-Jarvis.** 2001. Uncertainty of complex permittivity measurements by split-post dielectric resonator technique. *J. Eur. Ceram. Soc.* 21: 2673-2676.
- Kumar, P., P. Coronel, J. Simunovic, V.D. Truong & K.P. Sandeep.** 2007. Measurement of dielectric properties of pumpable food materials under static and continuous flow conditions. *J. Food Sci.* 72: E177-E183.
- North, O.M. & D.D. Bell.** 1990. *Commercial Chicken Production*. 4th Ed. Van Nostrand Reinhold, Connecticut.
- Pietruszewski, S., S. Muszyński & A. Dziwulska.** 2007. Electromagnetic fields and electromagnetic radiation as non-invasive external stimulants for seeds (selected methods and responses). *Int. Agrophysics* 21:95-100.
- Prodan, E., C. Prodan & J. H. Miller.** 2008. The dielectric response of spherical live cells in suspension: An analytic solution. *Biophysical Journal* 95: 4174-4182. http://arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/0805/0805.1745v1.pdf. arXiv:0805.1745v1 [cond-mat.soft]. [12 May 2008].
- Ragni, L., A. Al-Shami, G. Mikhaylenko & J. Tang.** 2007. Dielectric characterization of hen eggs during storage. *J. Food Eng.* 82: 450-459.
- Romanoff, A.L. & A. Romanoff.** 1963. *The Avian Eggs*. John Wiley and Sons, New York.
- Ron, P., K. Roy, E. Joe, J. Philip, O. Seajin, P. Qibing & S. Scot.** 2001. Dielectric elastomers: generator mode fundamentals and applications. *Proceeding of SPIE* vol. 4329 (Electroactive Polymer Actuators and Devices). 4-8 Maret 2001. Newport Beach, California.
- Silverside, F.G. & T.A. Scott.** 2000. The relationships among measures of egg albumen height, pH and whipping volume. *Poult. Sci.* 83: 1619-1623.
- Skierucha, W., R. Walczak & A. Wilczek.** 2004. Comparison of open-ended coax and TDR sensors for the measurement of soil dielectric permittivity in microwave frequencies. *Int Agrophysics* 18: 355-362.
- Stacheder, M.** 2005. TDR and low-frequency measurements for continuous monitoring of moisture and density in a snow pack. *Int. Agrophysics* 19: 75-78.
- Stadelman, W.F. & O.J. Cotterill.** 1995. *Egg Science and Technology*. 4th Ed. Food Products Press., An Imprint of the Haworth Press, Inc., New York.
- Tipler, P.A.** 2001. *Fisika untuk Sains dan Teknik*. Terjemahan: B. Soegijono. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Wahju, J.** 1997. *Ilmu Nutrisi Unggas*. UGM Press, Yogyakarta.
- Winarno, F.G. & S. Koswara.** 2002. *Telur: Komposisi, Penanganan, dan Pengolahannya*. M. Brio Press, Bogor.
- Walter, L.E., E. Vidal Russell., N.E. Israeloff & H. Alvarez Gomariz.** 1998. Atomic force measurement of low-frequency dielectric noise. *Appl. Phys. Lett.* 74: 3223-3225.
- Zara, J.M., S. Yazdanfar, K.D. Rao, J.A. Izatt & S.W. Smith.** 2003. Electrostatic micromachine scanning mirror for optical coherence tomography. *Optics. Lett.* 28: 628-630.
- Zhou, J. Y. & S.A. Boggs.** 2001. Measurement of nonlinear dielectric properties-effect of dielectric dispersion. *IEEE CEIDP*. 1-4.