

KARAKTERISTIK FILM POLISULFON SEBAGAI BAHAN DIELEKTRIK SENSOR KELEMBABAN JENIS KAPASITIF

Adi Cifriadi¹, Barnas Holil² dan Munawar A. Riyadi³

¹Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor - Pusat Penelitian Karet

Jl. Salak No.1, Bogor 16151

²Departemen Kimia FMIPA - ITB

Jl. Ganesha 10, Bandung

³PPAU Mikroelektronika - ITB

Jl. Ganesha 10, Bandung

ABSTRAK

KARAKTERISTIK FILM POLISULFON SEBAGAI BAHAN DIELEKTRIK SENSOR KELEMBABAN JENIS KAPASITIF. Bahan pengindera kelembaban menggunakan film tipis polimer dapat dikarakterisasi berdasarkan parameter perubahan sifat kelistrikan bahan polimer akibat molekul air yang teradsorpsi pada permukaan film polimer tersebut. Pada penelitian ini dikaji kinerja film polisulfon sebagai bahan dielektrik sensor kelembaban jenis kapasitif melalui karakteristik sensor yang dihasilkan yakni : kelinieran, waktu respon, sensitivitas dan histeresis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa film polisulfon sebagai bahan dielektrik sensor kelembaban jenis kapasitif memiliki peluang untuk dimanfaatkan sebagai bahan pengindera kelembaban relatif ruangan. Karakteristik film polisulfon sebagai bahan dielektrik sensor kelembaban jenis kapasitif ukuran kecil ($A = 9,68 \text{ mm}^2$) lebih baik dibandingkan ukuran sedang ($A = 19,51 \text{ mm}^2$) karena menghasilkan kelinieran yang lebih baik serta histeresis lebih rendah.

Kata kunci : Sensor kelembaban jenis kapasitif, bahan dielektrik, polisulfon

ABSTRACT

CHARACTERISTICS OF POLYSULPHONE FILM AS DIELECTRICT MATERIAL OF CAPACITIVE-TYPE HUMIDITY SENSOR. Humidity sensor material using thin-film polymer could be characterized based on the parameter of the electrical properties change of polymer due to water molecules that were adsorbed on the polymer surface. The research studied about the performance of polysulphone film as dielectrick material of capacitive-type humidity sensor by sensor characteristics that were produced, namely : linearity, response time, sensitivity, and hysteresis. The research showed that polysulphone film has chance for sensing material of humidity sensor. The characteristics of small-size humidity sensor ($A=9.68 \text{ mm}^2$) is better than middle-size sensor ($A=19.51 \text{ mm}^2$) because the characteristic which has been produced has better linearity and lower hysteresis.

Key words : Capacitive-type humidity sensor, dielectrick material, polysulphone

PENDAHULUAN

Radiosonde merupakan suatu instrumen elektronika yang didalam rangkaiannya terdapat sensor untuk mengukur tekanan, suhu dan kelembaban udara serta arah dan kecepatan angin. Instrumen ini digunakan oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) untuk kegiatan prakiraan cuaca. Setiap tahun BMG Indonesia diperkirakan memerlukan sekitar 10.000 (sepuluh ribu) unit pemancar radiosonde. Radiosonde yang beredar di Indonesia masih diimpor dengan harga yang cukup mahal sehingga diperlukan suatu upaya untuk mengembangkannya agar dapat mensubstitusi instrumen impor tersebut.

Dalam sistem instrumentasi elektronika, sensor kelembaban merupakan instrumen yang mengubah

banyaknya uap air yang teradsorpsi pada bahan pengindera menjadi besaran listrik, dimana jumlah uap air ini menunjukkan besarnya kelembaban relatif udara. Besaran listrik yang biasa digunakan adalah resistansi dan kapasitansi. Berdasarkan parameter perubahan sifat kelistrikan bahan, sensor kelembaban dapat digolongkan menjadi dua jenis, yakni sensor kelembaban jenis kapasitif dan jenis resistif [4].

Sensor kelembaban jenis kapasitif memiliki prinsip dasar pengukuran berdasarkan perubahan kapasitansi ataupun nilai dielektrik akibat teradsorpsinya molekul air, sedangkan prinsip dasar pengukuran sensor kelembaban jenis resistif berdasarkan perubahan resistansi.

Dalam pembuatan sensor terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kinerjanya, yakni : kelinieran, sensitivitas, histeresis dan waktu respon. Kelinieran merupakan suatu parameter utama yang menentukan kualitas sensor yang menunjukkan perubahan besaran-besaran masukan (besaran kimia dan fisika) yang terdeteksi sebanding dengan perubahan besaran-besaran keluaran (besaran listrik dan fisika) yang terukur. Sensitivitas merupakan perbandingan antara perubahan nilai keluaran sensor terhadap perubahan nilai pengukuran. Histeresis merupakan parameter yang menunjukkan perbedaan maksimum didalam nilai besaran-besaran keluaran pada pengukuran nilai besaran masukan yang sama. Kemudian waktu respon menunjukkan waktu yang diperlukan untuk mendeteksi besaran masukan.

Penelitian tentang bahan-bahan yang dapat digunakan sebagai bahan pengindra (sensor) kelembaban telah berkembang pesat. Beberapa jenis bahan, seperti keramik dan polimer telah diuji dan diteliti untuk dimanfaatkan sebagai bahan pengindra kelembaban. Perkembangan ini didasarkan hipotesis bahwa setiap jenis bahan, seperti polimer, keramik, ataupun bahan-bahan yang lain memiliki sifat listrik (dielektrik dan konduktivitas) tertentu, bila bahan-bahan tersebut menyerap uap air maka terjadi perubahan sifat kelistrikan bahan [1,2,3,4]. Apabila jumlah uap air yang terserap pada bahan sebanding dengan perubahan sifat listriknya maka bahan tersebut berpotensi untuk digunakan sebagai bahan pengindra kelembaban [1]. Dengan demikian, berdasarkan parameter perubahan sifat kelistrikan bahan terhadap kondisi kelembaban suatu ruangan maka akan diperoleh suatu bahan yang cocok sebagai bahan pengindra kelembaban.

Pada umumnya, polimer bersifat isolator listrik sehingga bahan ini dapat digolongkan sebagai bahan dielektrik. Berdasarkan struktur molekulnya, polimer yang mempunyai sejumlah kecil gugus polar dan berstruktur rantai ikatan silang memiliki kemampuan mengadsorpsi molekul air melalui interaksi dipol-dipol, ikatan hidrogen, ataupun melalui karakteristik porositas bahan [2]. Adanya molekul air yang teradsorpsi pada film polimer ini dapat mengakibatkan perubahan sifat listrik bahan polimer tersebut. Untuk bahan polimer yang mempunyai sejumlah kecil gugus polar (*low hydrophilic*) dan berstruktur kaku, seperti turunan selulosa, poliimida, dan polimetilmetakrilat telah diteliti dan diuji sebagai bahan sensor kelembaban jenis kapasitif.

Pemilihan film polisulfon sebagai bahan dielektrik sensor kelembaban jenis kapasitif ini didasarkan atas sifat-sifat yang dimilikinya, yakni berdasarkan struktur molekulnya, polisulfon mengandung sejumlah kecil gugus polar (gugus sulfon dan alkoksi) sehingga memungkinkan terjadinya interaksi antara molekul air dengan polisulfon melalui interaksi dipol-dipol dan ikatan hidrogen. Disamping itu, bahan ini juga mempunyai

beberapa keunggulan dalam proses pembuatan sensor, yakni memiliki suhu pemrosesan yang cukup tinggi serta memiliki ketahanan terhadap asam mineral dan alkali. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dipelajari karakteristik film polisulfon sebagai bahan dielektrik sensor kelembaban udara.

METODE PERCOBAAN

Bahan dan Alat

Dalam penelitian ini bahan-bahan kimia yang dipakai antara lain : aseton (99,5 %), *De-ionized water* ($DI-H_2O$), *resist* (+), larutan *developer* (tetrametil amonium hidroksida), larutan *etsa* aluminium (16 mL H_3PO_4 : 1 mL HNO_3 : 1 mL CH_3COOH : 1 mL $DI-H_2O$), wafer silikon, logam aluminium (99,99 %), N_2 cair, H_2SO_4 (95-97 %), H_2O_2 (30-32 %), HF, NH_4OH , polisulfon, dan tetra hidro furan 99,5 % (THF).

Alat-alat yang digunakan adalah peralatan gelas, *photo exposure Karl Suss*, *spinner*, *profile projector* (Nikon V-12 A), alat *sputtering*, *evaporator* logam, tungku oksidasi kering, *chamber*, oven, *Relative Humidity (RH)-meter*, *capacitance-meter* (HP 4140B), *humidifier*, pompa vakum, dan *masker* (pola) sensor.

Pembuatan Rangkaian Sensor Kelembaban Jenis Kapasitif

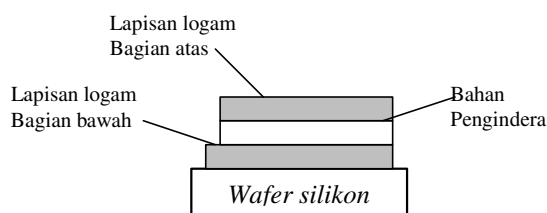
Proses pembuatan rangkaian sensor kelembaban jenis kapasitif ini menggunakan teknik litografi dengan tahapan sebagai berikut : pertama, metalisasi aluminium pada substrat wafer silikon untuk membuat elektrode aluminium bagian bawah. Kemudian polisulfon dilarutkan dalam larutan THF (99,5 %), lalu larutan polisulfon tersebut dilapiskan dengan teknik putaran pelapisan pada substrat wafer silikon. Wafer silikon dikeringkan pada 70 °C selama 2 menit. Terakhir, metalisasi aluminium pada substrat wafer silikon untuk membuat elektrode aluminium bagian atas. Dalam penelitian ini dibuat tiga rangkaian sensor kelembaban kapasitif dengan luas permukaan elektrode aluminium berturut-turut 9,68 mm², 19,51 mm² dan 61,95 mm².

Karakterisasi Sensor

Karakteristik sensor kelembaban yang diamati adalah : kelinieran, waktu respon, sensitivitas, dan histeresis. Karakteristik sensor ini ditentukan melalui hubungan antara parameter perubahan kapasitansi terhadap perubahan kelembaban relatif ruangan. Alat pengujian sensor ini berupa *chamber* yang bisa dialirkan udara basah dan kering untuk mengatur kelembaban relatif didalam *chamber* serta dihubungkan dengan *probe capacitance-meter* (HP 4140B), dan *probe Relative Humidity (RH) - meter*.



Gambar 1. Foto alat karakterisasi sensor kelembaban



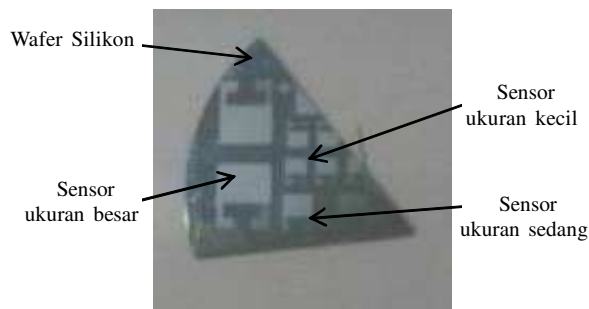
Gambar 2. Struktur sensor

HASIL DAN PEMBAHASAN

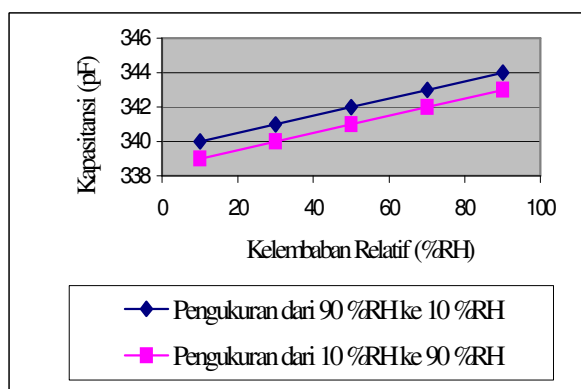
Rangkaian sensor kelembaban yang dibuat berbentuk kapasitor pelat sejajar dengan bahan dielektrik film polisulfon sebagai bahan pengindera kelembaban relatif ruangan. Foto rangkaian sensor kelembaban jenis kapasitif dengan variasi ukuran/luas permukaan elektroda logam aluminium dapat dilihat pada Gambar 3. Terdapat 3 (tiga) ukuran rangkaian sensor kelembaban yang dibuat dengan pola yang sama, yakni kapasitor ukuran besar ($A = 61,95 \text{ mm}^2$), kapasitor ukuran sedang ($A = 19,51 \text{ mm}^2$), dan kapasitor ukuran kecil ($A = 9,68 \text{ mm}^2$). Untuk rangkaian kapasitor ukuran besar tidak dapat dikarakterisasi karena terdapat arus bocor sehingga tidak terukur nilai kapasitansinya.

Gambar 4 menunjukkan hubungan kelembaban relatif (RH) dengan kapasitansi sensor dengan luas permukaan $9,68 \text{ mm}^2$. Pada Gambar 4 terlihat bahwa kapasitansi yang terukur semakin meningkat bila kondisi kelembaban relatif ruangan ditingkatkan. Peningkatan kapasitansi ini disebabkan film polisulfon yang merupakan bahan dielektrik sensor, semakin banyak mengadsorpsi molekul air pada kondisi kelembaban relatif ruangan yang lebih tinggi. Adanya molekul air yang teradsorpsi pada film polisulfon ini memberikan tambahan polarisasi dari bahan dielektrik sensor sehingga muatan listrik semakin banyak tersimpan dalam kapasitor, yang selanjutnya menyebabkan peningkatan nilai kapasitansi.

Pengukuran kapasitansi sensor dilakukan dengan pengkondisian kelembaban relatif ruangan semakin meningkat (dari 10% RH sampai dengan 90% RH) dan



Gambar 3. Foto rangkaian sensor kelembaban jenis kapasitif

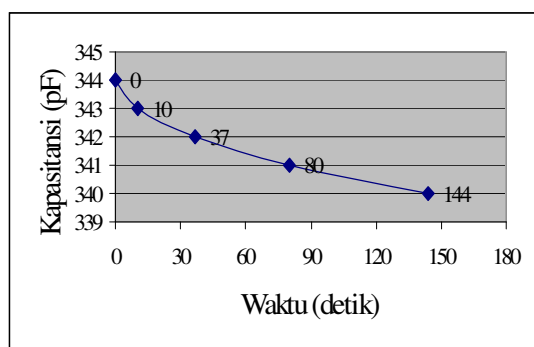


Gambar 4. Hubungan kelembaban relatif dengan kapasitansi sensor ($A = 9,68 \text{ mm}^2$)

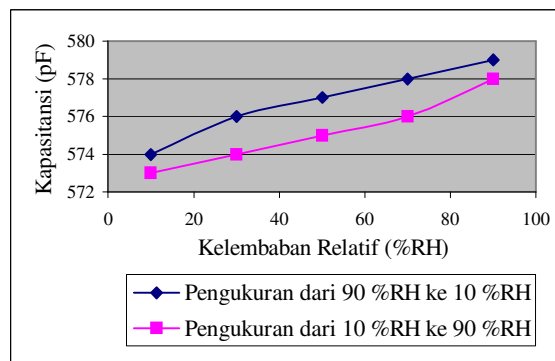
semakin menurun (dari 90% sampai dengan 10% RH). Pengukuran ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai histeresis. Perbedaan nilai kapasitansi sensor pada kondisi kelembaban relatif yang sama (pada pengukuran kapasitansi untuk pengkondisian kelembaban relatif naik dan turun) menunjukkan nilai histeresis.

Sensor yang mempunyai nilai histeresis rendah menunjukkan bahwa kinerjanya lebih baik. Pada Gambar 4 nampak bahwa kapasitansi sensor meningkat secara linier dari 10% RH sampai dengan 90% RH baik pada pengkondisian kelembaban relatif ruangan semakin meningkat dan menurun. Karakteristik kelinieran sensor menunjukkan daerah kerja penginderaan suatu besaran, dalam hal ini adalah kelembaban udara. Semakin lebar rentang daerah kerja suatu sensor, semakin baik kinerjanya. Sensor kelembaban jenis kapasitif ukuran kecil memiliki daerah linier yang lebar yakni dari 10 %RH sampai dengan 90 %RH. Pada pengkondisian kelembaban relatif ruangan semakin meningkat menghasilkan persamaan $y = 0,05x + 338,5$ sedangkan pada pengkondisian RH semakin menurun menghasilkan persamaan $y = 0,05x + 339,5$. Kemudian karakteristik sensor kelembaban ukuran kecil yang lain, seperti sensitivitas diperoleh dari kemiringan pada persamaan garis diatas sebesar 0,05 dan histeresis sebesar 20 %.

Gambar 5 menunjukkan waktu respon sensor kelembaban jenis kapasitif ukuran kecil. Waktu respon



Gambar 5. Waktu respon sensor kelembaban jenis kapasitif ukuran kecil ($A = 9,68 \text{ mm}^2$)



Gambar 6. Hubungan kelembaban relatif dengan kapasitansi sensor ($A = 19,51 \text{ mm}^2$)

sensor merupakan waktu yang diperlukan untuk mendeteksi besaran masukan, dalam hal ini kelembaban udara. Dari hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 4 bahwa besaran masukan (kelembaban relatif) sebanding dengan besaran keluaran (kapasitansi) sehingga waktu respon sensor dapat ditentukan dari hubungan antara besaran keluaran terhadap waktu. Dalam penelitian ini, waktu respon sensor diukur dari 90 % RH sampai dengan 10 % RH. Waktu respon sensor kelembaban berkaitan dengan proses adsorpsi dan desorpsi molekul air pada film polisulfon, semakin cepat proses adsorpsi-desorpsi maka waktu respon sensor juga semakin cepat. Dari hasil penelitian waktu respon sensor kelembaban jenis kapasitif ukuran kecil yang diukur dari 90 %RH sampai dengan 10 %RH sebesar 114 detik atau 1,42 detik setiap perubahan RH. Secara lengkap karakteristik sensor kelembaban jenis kapasitif ukuran kecil dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik sensor kelembaban jenis kapasitif ukuran kecil ($A = 9,68 \text{ mm}^2$)

Karakteristik Sensor	Nilai
Kelinearan	10 % - 90 % RH
Histeresis	20 %
Sensitivitas	0,05
Waktu respon	114 detik

Hubungan kelembaban relatif terhadap kapasitansi sensor ukuran sedang ($A = 19,51 \text{ mm}^2$) diperlihatkan pada Gambar 6. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa karakteristik kelinieran sensor dari 90 %RH sampai dengan 30 %RH untuk kondisi pengukuran kelembaban relatif semakin menurun, sedangkan pada kondisi pengukuran kelembaban relatif yang semakin meningkat terjadi pada 10 %RH sampai dengan 70 %RH. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kinerja sensor kelembaban ukuran sedang lebih rendah dibandingkan sensor kelembaban ukuran kecil karena memiliki daerah linier yang lebih sempit dan nilai histeresisnya lebih besar. Hal ini disebabkan proses adsorpsi dan desorpsi molekul air kemungkinan besar

terjadi pada bagian sisi samping sensor, sedangkan pada sisi bagian atas elektoda kecenderungannya lebih kecil. Keadaan ini mengakibatkan nilai kapasitansi berbeda cukup besar pada kondisi kelembaban udara yang sama yakni pada waktu proses adsorpsi molekul air (kondisi kelembaban relatif semakin meningkat) dan proses desorpsi molekul air (kondisi kelembaban relatif semakin menurun) sehingga sensor yang memiliki luas permukaan elektroda semakin besar, memiliki kecenderungan nilai histeresisnya lebih besar pula. Pada pengkondisian kelembaban relatif ruangan semakin meningkat (dari 10%RH sampai dengan 70%RH) menghasilkan persamaan $y = 0,05x + 572,5$ sedangkan pada pengkondisian RH semakin menurun (dari 90 %RH sampai dengan 30%RH) menghasilkan persamaan $y = 0,05x + 574,5$. Berdasarkan persamaan tersebut, sensitivitas sensor kelembaban ukuran sedang sebesar 0,05. Hasil karakterisasi sensor kelembaban jenis kapasitif ukuran sedang ($A = 19,51 \text{ mm}^2$) tercantum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik sensor kelembaban jenis kapasitif ukuran sedang ($A = 19,51 \text{ mm}^2$)

Karakteristik Sensor	Nilai
Kelinearan	10 %-70 % RH (naik) 30 %-90 % RH (turun)
Histeresis	33,3 %
Sensitivitas	0,05

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Film polisulfon dapat digunakan sebagai bahan dielektrik sensor kelembaban jenis kapasitif.
2. Luas permukaan (ukuran) elektroda logam pada rangkaian sensor dapat mempengaruhi kinerja sensor kelembaban jenis kapasitif yang dihasilkan.
3. Sensor kelembaban jenis kapasitif memakai film polisulfon sebagai bahan dielektrik dengan luas permukaan elektroda pada rangkaian sensor lebih

kecil menghasilkan kelinieran yang lebih baik serta histeresis lebih rendah.

4. Karakteristik film polisulfon sebagai bahan dielektrik sensor kelembaban jenis kapasitif ukuran kecil ($A = 9,68 \text{ mm}^2$) lebih baik dibandingkan karakteristik sensor kelembaban jenis kapasitif ukuran sedang ($A = 19,51 \text{ mm}^2$).

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih peneliti disampaikan kepada Dr. Ir. Irman Idris dan seluruh pegawai di laboratorium Devais dan Pemrosesan IC PPAU Mikroelektronika ITB.

DAFTARACUAN

- [1]. N. YAMAZOE and Y. SHIMIZU, *Sensor and Actuators B*, **10** (1986) 379
- [2]. Y. SAKAI, Y. SADAOKA and M. MATSUGUCHI, *Sensor and Actuator B*, **35 - 36** (1996) 85
- [3]. M. MATSUGUCHI, S. UMEDA, Y. SADAOKA and Y. SAKAI, *Sensor and Actuator B*, **49** (1998) 179
- [4]. D.D. DENTON, S.D. SENTURIA, E.S. ANOLICK and D. SCHEIDER, Fundamental Issues in The Design of Polymeric Capacitive Moisture Sensors, Digest of Technical Papers, *3rd Int. Conf. On Solid-state Sensor and Actuators (Transducer '85)*, Philadelphia (1985) 202
- [5]. M. MATSUGUCHI, Y. SADAOKA, K. NOSAKA, M. ISHIBASHI and Y. SAKAI, *J. Electrochem. Soc.*, **140** (1993) 825
- [6]. Y. SAKAI, M. MATSUGUCHI, Y. SADAOKA and K. HIRAYANA, *J. Electrochem. Soc.*, **140** (1993) 432
- [7]. Y. SAKAI, M. MATSUGUCHI and T. HURUKAWA, *Sensor and Actuator B*, **66** (2000) 135.
- [8]. Y. SADAOKA, M. MATSUGUCHI, Y. SAKAI and K. TAKAHASHI, *Journal of Materials Science Letter*, **7** (1988) 121
- [9]. M. MATSUGUCHI, Y. SADAOKA, H. MIZUGUCHI, K. UMEDA and Y. SAKAI, *Journal Application Polymer Science*, **63** (1997) 1681
- [10]. T. KUROIWA, T. MIYAGISHI, A. ITO, M. MATSUGUCHI, Y. SADAOKA and Y. SAKAI, *Sensor and Actuator B*, **13 - 14** (1995) 692