

SISTEM PENGUKURAN VOLUME CAIRAN MENGGUNAKAN SENSOR KAPASITIF: STUDI KASUS PADA INDUSTRI MINUMAN SUSU

MEASUREMENT SYSTEM OF LIQUID VOLUME USING A CAPACITIVE SENSOR: CASE STUDY ON MILK BEVERAGE INDUSTRY

Nur Tjahyo Eka D.^{1*}, Benardus H.S.², Rievanda Putri, Fahmy M. Ch.¹, Diina Qiyaman M².

¹Pusat Riset dan Pengembangan SDM-BSN

²Pusat Penelitian Fisika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

Kompleks PUSPIPTEK Gd. 430 Serpong, Tangerang Selatan 15314 Banten, Indonesia

*kontributor utama

E-mail: nur.tjahyo.eka@gmail.com

ABSTRAK

Dalam proses produksi industri minuman saat ini, dibutuhkan pengukuran cairan aliran yang akurat dan otomatis. Alat ukur cairan dibutuhkan untuk menjamin mutu, menjaga kontinuitas dan stabilitas aliran minuman segar. Tidak terkecuali dalam industri minuman susu dan yogurt. Penelitian mengenai sistem pengukuran volume cairan telah berhasil dirancang dan dikarakterisasi oleh Laboratorium Aliran - BSN menggunakan sensor kapasitif berbasis mikrokontroler. Pengukuran dilakukan menggunakan dua pita tembaga yang diberi jarak tertentu pada posisi vertikal dan horizontal di dalam sebuah wadah. Metode gravimetrik digunakan untuk mengukur volume cairan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa perubahan nilai konstanta dielektrik dan luas penampang sangat memengaruhi nilai kapasitansi. Variasi jarak antara pita tembaga sebagai variabel yang memengaruhi nilai persamaan linear pada sistem pengukuran kapasitif. Penggunaan sensor kapasitif pada sistem pengukuran volume cairan memiliki beberapa keuntungan dalam industri minuman susu dan yogurt karena biaya yang dibutuhkan minim, teknologi yang sederhana, konsumsi listrik yang rendah dan memiliki stabilitas yang baik.

Kata kunci: industri minuman susu, volume cairan, sensor kapasitif, mikro-kontroler, metode gravimetrik

ABSTRACT

In the current beverage industry production process, accurate and automatic measurement of flow fluid is needed. A liquid measuring device is needed to guarantee quality, maintain the continuity and stability of the flow of fresh drinks. Include the milk beverage industry. In this

paper, the fluid volume measurement system has been successfully designed and characterized by Flow Laboratory – Metrology - BSN using a microcontroller-based capacitive sensor. Measurements were made using two copper tape which were given a certain distance in a vertical and horizontal position in a container. Gravimetric methods are used to measure fluid volume. The measurement results show that changes in the dielectric constant and cross-sectional area greatly affect the capacitance value. The variation in distance between copper tape as a variable which influences the value of linear equations on capacitive measurement systems. However, the use of the capacitive sensors has several advantages in the milk beverage industry because of the minimal costs required, simple technology, low electricity consumption and good stability.

Keywords: *milk beverage industry, liquid volume, capacitive sensors, micro-controllers, gravimetric methods*

1. PENDAHULUAN

Pengukuran level cairan pada tangki banyak diaplikasikan untuk berbagai kepentingan. Contoh aplikasi pengukuran level cairan pada skala besar yakni, pengukuran level cairan bahan bakar minyak menggunakan Tangki Ukur Tetap Silinder Tegak (Tutsit). Adapun contoh pengukuran pada skala kecil adalah pengukuran level air pada tangki penyimpanan air di rumah. Pada industri makanan dan minuman, khususnya produk susu atau yoghurt, pengukuran level cairan menjadi penting. Hal ini disebabkan hasil pengukuran akan berpengaruh pada mutu produk yang dihasilkan.

Terdapat berbagai sensor level cairan di pasaran. Dari riset yang ada juga dihasilkan penemuan tentang sensor level cairan. Pengukuran level dapat

menggunakan tiga buah sensor kapasitif (Canbolat, H., 2009). Ditemukan juga bahwa sensor kapasitif untuk level cairan dapat dibuat dengan teknologi *ink-jet printing* (Paczesny, D. dkk, 2015). Sensor kapasitif untuk level cairan juga dapat dibuat dengan dua buah plat tembaga yang terinsulasi plastik (Qurthobi, A., 2016).

Dalam proses pembuatan susu atau yoghurt, diperlukan proses pengukuran level cairan susu yang tepat agar produk yang dihasilkan memiliki mutu dan aman untuk dikonsumsi. Pengukuran level cairan pada produk minuman membutuhkan higienitas dalam rangka menjaga keamanan kandungan minuman agar tidak tercemar bahan logam. Kontak yang terjadi antar sensor dengan cairan diharapkan dapat diminimalkan untuk

menurunkan risiko pencemaran kandungan produk susu atau yoghurt.

Untuk menghasilkan produk susu atau yoghurt yang aman dan bermutu, pelaku industri diharapkan mampu menerapkan cara produksi pangan olahan yang baik (CPPOB) sesuai peraturan yang berlaku. Menurut Peraturan Kemenperin no. 75/M-IND/PER/7/2010 tentang Pedoman Cara Produksi Pangan Olahan yang Baik, dikatakan bahwa mesin atau peralatan yang dipergunakan dalam proses produksi harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Persyaratan tersebut adalah permukaan yang kontak langsung dengan bahan pangan olahan harus halus, tidak berlubang atau bercelah, tidak mengelupas, tidak menyerap air, dan tidak berkarat (Kemenperin, 2010).

Mutu suatu produk juga akan bergantung pada alat ukur yang digunakan pada proses pembuatannya. Alat ukur yang terdapat pada mesin/peralatan sudah seharusnya dipastikan keakuratannya. Laboratorium Standar Nasional Satuan Ukuran - BSN adalah laboratoirum yang bertugas menjaga ketertelusuran alat ukur yang beredar di masyarakat.

Alat ukur yang digunakan dapat dikalibrasi secara periodik guna menjaga akurasi dan juga ketertelusuran alat tersebut.

Untuk mencegah hal-hal yang akan menyebabkan berubahnya mutu produk

susu dan yoghurt akibat kontak langsung dengan sensor, maka akan dibuat teknologi penakar cairan berbasis sensor kapasitif. Teknologi ini akan mampu menakar cairan yang berada di dalam tangki pada proses pembuatan susu dan yoghurt. Selain bahan-bahan pembuatan yang bermutu, takaran cairan ini akan menentukan kualitas dari produk yoghurt yang dihasilkan.

Dalam makalah ini akan dipaparkan tentang teknologi pengukur volume cairan berbasis sensor kapasitif. Selain itu, akan dijelaskan juga karakterisasi dari sistem teknologi pengukur volume cairan berbasis sensor kapasitif pada proses pembuatan produk minuman susu dan yoghurt. Diharapkan dengan riset ini akan didapatkan desain terbaik dari teknologi penakar cairan berbasis sensor kapasitif. Imbasnya tentu akan meningkatkan daya saing industri pangan olahan agar mampu memproduksi pangan olahan yang bermutu dan aman untuk dikonsumsi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian terkait sistem pengukuran volume cairan cairan menggunakan sensor kapasitif sudah banyak dilakukan di luar negeri maupun di dalam negeri. Berbagai desain diujicobakan untuk meningkatkan keakuratan hasil pengukuran dan menyesuaikan dengan kebutuhan kondisi pengukuran.

Tabel 1. Kategori Sensor

Sensor	Kelebihan	Kekurangan
<i>Float liquid-level sensor</i>	- Struktur sederhana - Biaya pembuatan rendah	- Biaya pemeliharaan tinggi - Rentan terhadap kerusakan mekanik
<i>Ultrasonic liquid-level sensor</i>	- Struktur sederhana - Pemasangan dan perawatan mudah	- Rentan terhadap gangguan - Sulit untuk mencapai <i>performance</i> intrinsik yang aman
<i>Magnetostrictive liquid-level structure</i>	- Presisi tinggi - Skala besar - Aman tingkat tinggi	- Mudah terperangkap pada kondisi khusus semisal cairan keruh
<i>Differential pressure liquid-level sensor</i>	- Performance stabil - Presisi tinggi - Biaya pembuatan rendah	- Mudah terhambat
<i>Fiber optic liquid-level sensor</i>	- Tidak terganggu elektromagnetik - Tangguh pada lingkungan yang sulit	- Tidak dapat mengukur cairan keruh dan cairan lengket
<i>Conventional Capacitive liquid-level sensors</i>	- Biaya rendah (<i>Low cost</i>) - Linieritas tinggi - Disipasi energi rendah	- Struktur kompleks

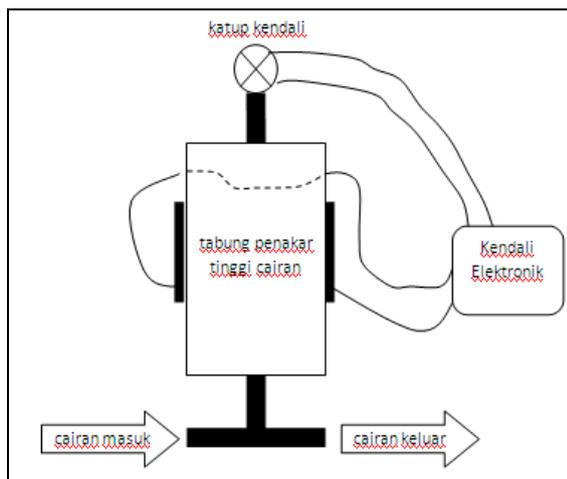
(Woodard & Taylor, 2007; Reverter et al, 2007; Isiker & Canbolat, 2007; Heard, 1986; Longbottom & Eren, 1994; Mills, 1986; Vazquez et al, 2002; Betta et al, 1998; Haase, 2004)

Hal yang menjadi perhatian dalam membuat sensor penakar cairan adalah kebutuhan hasil pengukuran *real time* yang akurat pada kondisi lingkungan yang berbeda - beda. Pada Tabel 1 ditunjukkan berbagai alternatif jenis sensor yang telah diteliti dengan kelebihan dan kekurangannya masing - masing. Sensor kapasitif yang digunakan pada alat penakar cairan memiliki kelebihan pada harganya yang murah, hasilnya cukup linear, disipasi energi yang kecil. Tapi memiliki kekurangan struktur yang kompleks dan keamanannya (Xu, R et al, 2016).

Di Indonesia sendiri sudah banyak dilakukan penelitian terkait sensor kapasitif sebagai alat penakar cairan. Misalnya, untuk pengukuran level air (Zahrotin, E., & Endarko, E. 2014), perangkat pendeteksi banjir (Mulyana, I. E., & Kharisman, R., 2014), (Paramitha, A., Jati, A. N., & Sunarya, U. 2015), penentuan level aquades (Cahyono, B.E., 2016), pengukuran kadar gula dengan sensor kapasitif dan arduino (Purnamasari, 2017), dan alat ukur curah hujan (Rofiq, M.A., 2017).

3. METODE

Metode yang dilakukan pada penelitian ini diawali dengan perancangan sistem pengukur volume cairan berbasis sensor kapasitif. Sensor kapasitif dipilih dalam penelitian ini mempunyai sifat non-kontak, karena sensor tidak langsung bersentuhan dengan cairan, sehingga produk minuman yang dihasilkan terjaga ke higienisannya. Tabung penakar cairan yang digunakan yaitu tabung dengan ukuran volume 1000 mL. Gambar 1 menunjukkan skema sistem pengukuran volume cairan menggunakan sensor kapasitif.



Gambar 1. Skema Sistem Pengukuran Volume Berbasis Sensor Kapasitif

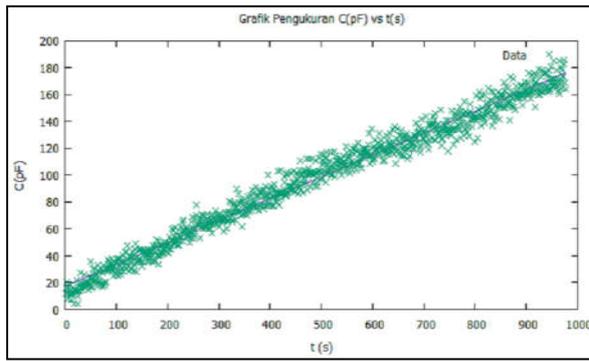
Pada tahap awal, dilakukan set up sistem pengukuran. Pengukuran nilai kapasitansi dilakukan dengan menggunakan dua pita tembaga yang diberi jarak tertentu. Dua pita tembaga ini ditempelkan pada dinding luar wadah yang berisi air, kemudian dihubungkan dengan resistor 10 M Ω pada *sensing* jarak dekat.

Resistor digunakan untuk mengukur nilai kapasitansi pita tembaga tersebut. Nilai hambatan yang semakin besar akan berpengaruh pada sensitivitas sensor, namun akan membuat kerjanya lebih lambat. Berdasarkan hal tersebut akan diperoleh nilai kapasitansi per satuan waktu dengan variasi *sensing* jarak dekat (2 cm) dan jarak jauh (4.5 cm). Setelah itu, dilakukan pengukuran volume cairan dengan metode gravimetrik, yaitu menimbang cairan menggunakan timbangan. Dalam hal ini digunakan sebuah sensor *load cell* sebagai timbangan. Serta dilengkapi juga dengan sensor suhu BME280 sebagai pengukur suhu. Untuk pengisian air pada wadah digunakan sebuah *peristaltic-pumpmotor*.

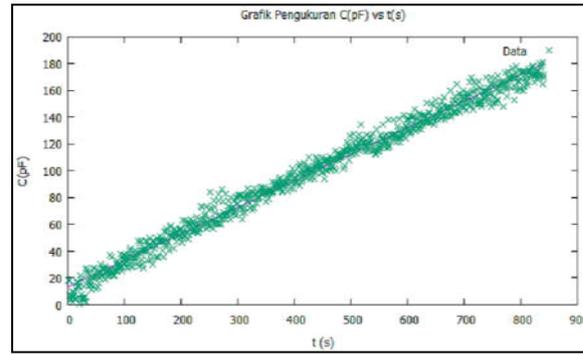
Pengukuran dilakukan secara berulang dengan kebutuhan variasi tertentu, untuk kemudian dianalisis. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan persamaan regresi linear (*least square*) pada besar kapasitansi per satuan waktu. Selain itu, untuk menghitung volume digunakan persamaan perhitungan volume menggunakan metode gravimetri menurut ISO TR 20461.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengukuran nilai kapasitif saat pengisian air ditampilkan pada Gambar 2.



(a)



(b)

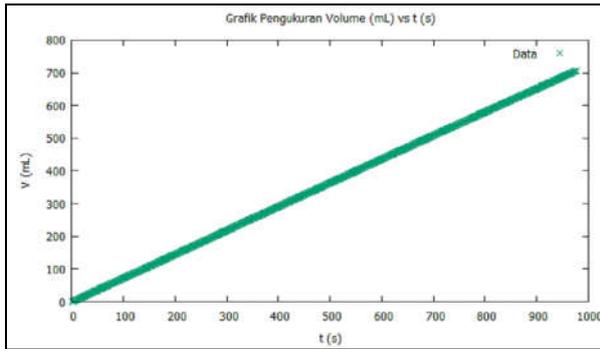
Gambar 2. Grafik kapasitansi terhadap waktu (a) jarak 2 cm; (b) jarak 4.5 cm

Jarak yang digunakan yaitu jarak dekat (2 cm) dan jarak jauh (4.5 cm). Pengisian air ke dalam wadah dilakukan dengan *peristaltic pump* dengan kecepatan 200 rpm.

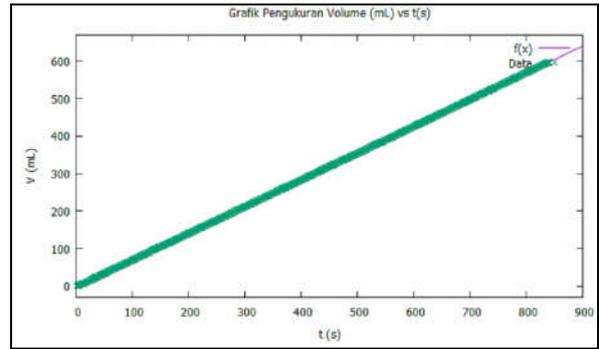
(a) Jumlah data yaitu 976 data dalam waktu 976 detik. Nilai persamaan dari *fitting* yang dilakukan adalah $y = 0.162821x + 17.3739$, dengan y adalah nilai kapasitansi (C), dan x adalah nilai dari waktu (t). Nilai *asymptotic error* dari pengambilan rata-rata adalah 0.4607% (δ_m) dan 2.435% (δ_a).

(b) Jumlah data yaitu 841 data dalam waktu 841 detik. Nilai persamaan dari *fitting* yang dilakukan adalah $y = 0,19807x + 13,4616$, dengan y adalah nilai kapasitansi (C), dan x adalah nilai dari waktu (t). Nilai *asymptotic error* dari pengambilan rata-rata adalah 0.4114% (δ_m) dan 2.942% (δ_a).

Kedua plot di atas menunjukkan indikasi ketidakstabilan nilai kapasitansi saat dilakukan pengisian air. Plot data menyebar dan membentuk luasan yang tebal sepanjang garis regresi linear *fitting*, juga menjadi indikasi akurasi masih belum signifikan. Kemudian, nilai volume dihitung menggunakan massa hasil penimbangan air saat proses pengisian. Volume dihitung menggunakan persamaan yang terdapat di ISO TR 20461 dengan memperhatikan beberapa variabel seperti suhu, kelembapan, dan tekanan udara untuk menghitung densitas air. Hasilnya diplot dengan nilai volume pada sumbu y dan waktu pada sumbu x , seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



(a)



(b)

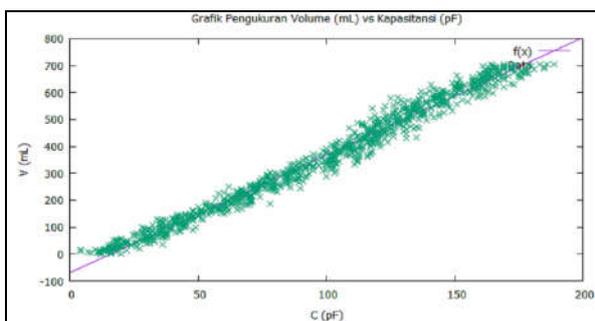
Gambar 3 Grafik volume terhadap waktu (a) jarak 2 cm; (b) jarak 4.5 cm

(a) Jumlah data yaitu 976 data dalam waktu 976 detik. Nilai persamaan dari *fitting* yang dilakukan adalah $y = 0.725334x - 0.00708071$, dengan y adalah nilai volume (V), dan x adalah nilai dari waktu (t). Nilai *asymptotic error* dari pengambilan rata-rata adalah 0.01298% (δm) dan 749.7% (δa).

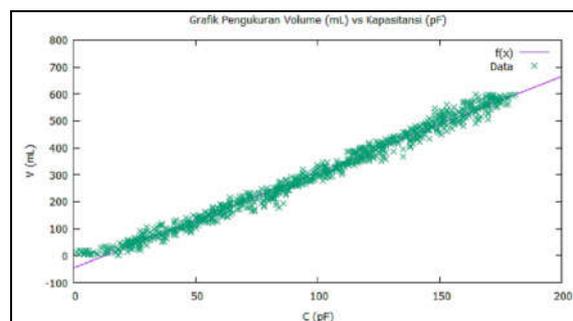
(b) Jumlah data yaitu 841 data dalam waktu 841 detik. Nilai persamaan dari *fitting* yang dilakukan adalah $y = 0.713019x - 1.65411$, dengan y adalah nilai volume (V), dan x adalah nilai

dari waktu (t). Nilai *asymptotic error* dari pengambilan rata-rata adalah 0.009177% (δm) dan 1.923% (δa).

Setelah itu, dicari hubungan antara volume dengan besar kapasitansi berdasarkan data di atas. Diperoleh persamaan untuk mengetahui nilai volume pada nilai kapasitansi tertentu. Plot data ditunjukkan pada Gambar 4.



(a)



(b)

Gambar 4 Grafik Volume terhadap kapasitansi (a) jarak 2 cm; (b) jarak 4.5 cm

- (a) Jumlah data yaitu 976 data dalam waktu 976 detik. Nilai persamaan dari *fitting* yang dilakukan adalah $y = 4.36521x - 68.7224$, dengan y adalah nilai volume (V), dan x adalah nilai kapasitansi (C). Nilai *asymptotic error* dari pengambilan rata-rata adalah 0.4576% (δ_m) dan 3.122% (δ_a).
- (b) Jumlah data yaitu 841 data dalam waktu 841 detik. Nilai persamaan dari *fitting* yang dilakukan adalah $y = 3.5492x - 45.2151$, dengan y adalah nilai volume (V), dan x adalah nilai kapasitansi (C). Nilai *asymptotic error* dari pengambilan rata-rata adalah 0.413% (δ_m) dan 3.51% (δ_a)

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis di atas, dapat disimpulkan bahwa teknologi sistem pengukuran volume cairan menggunakan sensor kapasitif mampu diterapkan dalam skala kecil, yaitu pada gelas ukur dengan volume cairan 600 mL s.d. 800 mL.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa perubahan nilai konstanta dielektrik dan luas penampang sangat memengaruhi nilai kapasitansi. Variasi jarak antara pita tembaga sebagai konduktif memengaruhi nilai persamaan linier pada sistem pengukuran kapasitif. Variasi jarak pada p juga memberi pengaruh di tiap pengujian baik penentuan nilai kapasitansi maupun proses penimbangan. Linearitas antara

volume terhadap kapasitansi bernilai cukup baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Menristekdikti yang telah mendanai penelitian ini melalui Program INSINAS 2018 dengan nomor kontrak 67/P/RPL-LIPI/INSINAS-1/III/2018. Penulis juga mengucapkan terima kasih pada Puslit Metrologi LIPI dan jajaran manajemen yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini. Serta penulis ucapkan terima kasih kepada mahasiswa-mahasiswi Universitas Indonesia yang tergabung dalam kegiatan magang di Laboratorium Aliran Puslit Metrologi LIPI dan terlibat dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Betta, G., Pietrosanto, A., & Scaglione, A. (1997, May). A gray-code-based fiber optic liquid level transducer. In *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Sensing, Processing, Networking. IMTC Proceedings* (Vol. 1, pp. 703-707). IEEE.
- Cahyono, B. E. (2016). Karakterisasi Sensor Kapasitif Untuk Penentuan Level Aquades. *REM (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, 1(2).

- Canbolat, H. (2009). A novel level measurement technique using three capacitive sensors for liquids. *IEEE transactions on Instrumentation and Measurement*, 58(10), 3762-3768.
- Haase, W. C. (2004). *U.S. Patent No. 6,700,392*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Heard, D. B. (1986). Fail-safe devices for the prevention of hazardous materials spills. *Journal of hazardous materials*, 13(2), 233-238.
- IŞIKER, H., & CANBOLAT, H. (2007). A novel grain level measurement method for silos.
- ISO. (2000), *Technical Report 20461 Determination of uncertainty for volume measurements made using the gravimetric method*.
- Longbottom, F., & Eren, H. (1994, May). Ultrasonic multiple-sensor solid level measurements. In *Conference Proceedings. 10th Anniversary. IMTC/94. Advanced Technologies in I & M. 1994 IEEE Instrumentation and Measurement Technolgy Conference (Cat. No. 94CH3424-9)* (pp. 749-752). IEEE.
- Mills, B. T. (1986). Multi-sensor system using plastic optical fibers for intrinsically safe level measurements. In *Linear Applications Handbook* (p. 141). Nat. Semicond. Corp..
- Mulyana, I. E., & Kharisman, R. (2014). Perancangan Alat Peringatan Dini Bahaya Banjir dengan Mikrokontroler Arduino Uno R3. *Creative Information Technology Journal*, 1(3), 171-182.
- Paczesny, D., Tarapata, G., Michał, M., & Jachowicz, R. (2015). The capacitive sensor for liquid level measurement made with ink-jet printing technology. *Procedia engineering*, 120, 731-735
- Paramitha, A., Jati, A. N., & Sunarya, U. (2015). Perancangan Dan Implementasi Perangkat Pendeteksi Banjir Dengan Sensor Pengukur Muka Level Air Menggunakan Logika Fuzzy. *eProceedings of Engineering*, 2(2).
- Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia Nomor 75/M-IND/PER/7/2010 tentang Pedoman Cara Produksi Pangan Olahan yang Baik (*Good Manufacturing Practices*)
- Purnamasari, P. (2017). Pembuatan Alat Ukur Kadar Gula Berbasis Kapasitansi Dengan Menggunakan Arduino Uno.
- Qurthobi, A., Iskandar, R. F., & Krisnatal, A. (2016, November). Design of capacitive sensor for water level measurement. In *Journal of Physics Conference Series* (Vol. 776, No. 1).

- Reverter, F., Li, X., & Meijer, G. C. (2007). Liquid-level measurement system based on a remote grounded capacitive sensor. *Sensors and Actuators A: Physical*, 138(1), 1-8
- Rofiq, M.A. (2017). Rancang Bangun Alat Ukur Curah Hujan Menggunakan Sensor Kapasitif Plat Sejajar Berbasis Mikrokontroler. Skripsi Univ. Jember.
- SNI. (2009). 2981 tentang Yoghurt, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Vazquez, C., Garcinuño, J., Pena, J. M. S., & Gonzalo, A. B. (2002, November). Multi-sensor system for level measurements with optical fibres. In *IEEE 2002 28th Annual Conference of the Industrial Electronics Society. IECON 02* (Vol. 4, pp. 2657-2662). IEEE.
- Woodard, S. E., & Taylor, B. D. (2007). A wireless fluid-level measurement technique. *Sensors and Actuators A: Physical*, 137(2), 268-278.
- Xu, R., Wang, B., Zhang, M., Hossain, N., Zhang, X., & Yang, L. (2016, December). Capacitive measurement system for liquid level measurement. In *2016 5th International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT)* (pp. 810-815). IEEE.
- Zahrotin, E., & Endarko, E. (2014). RANCANG BANGUN SENSOR KAPASITIF UNTUK LEVEL AIR. *BERKALA FISIKA*, 17(4), 129-138. ISSN : 1410-9662.