

# Sensor Fiber Optik Plastik Berstruktur *Directional Coupler* untuk Mengukur Konsentrasi Larutan NaCl

Taufik Hidayat, Sudarsono, dan Gatut Yudoyono

Departemen Fisika, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

*e-mail:* gyudoyono@physics.its.ac.id

**Abstrak**—Fiber optik FD-620-10 dengan struktur *directional coupler* (DC) dimanfaatkan sebagai sensor konsentrasi NaCl. DC yang dibuat memiliki panjang interaksi 20 mm, 25 mm, dan 30 mm. DC dikarakterisasi pada spektrum cahaya merah (660 nm) menggunakan dua buah BF5R-D1-N sebagai sumber dan detektor. Selain pada cahaya merah DC juga dilakukan karakterisasi pada spektrum cahaya inframerah (1310 nm dan 1550 nm) dengan OLS sebagai sumber dan OPM sebagai detektor. Pengujian DC sebagai sensor dilakukan dengan cara mengirimkan cahaya merah dari BF5R-D1-N menuju larutan NaCl 0 - 20% dengan di bagian ujung serat optik terpasang cermin datar, cahaya akan dibiaskan dan dipantulkan kembali menuju detektor dengan intensitas yang berbeda-beda untuk setiap larutan yang memiliki indeks bias berbeda. Pada penelitian ini hasil fabrikasi DC memiliki karakteristik terbaik pada panjang interaksi 30 mm dengan coupling ratio sekitar 35%:65%. Sistem sensor pada penelitian ini menunjukkan bahwa intensitas cahaya yang terdeteksi berbanding terbalik terhadap konsentrasi larutan NaCl dan dapat bekerja dengan baik pada rentang konsentrasi 0-12 %.

**Kata Kunci**—*Directional Coupler*, Sensor Fiber Optik plastik, Larutan NaCl.

## I. PENDAHULUAN

SERAT optik pada dasarnya adalah pandu gelombang, dan sering dimanfaatkan sebagai media transmisi informasi dalam bidang komunikasi. Selain itu, serat optik juga dapat dimanfaatkan menjadi perangkat optik yang memiliki fungsi yang lebih luas. Salah satu contoh perangkat optik yang memanfaatkan serat optik adalah fiber optik sensor. Dibandingkan dengan sensor biasa, fiber optik sensor memiliki beberapa keunggulan yaitu tidak mengalami kontak langsung dengan obyek pengukuran, akurasi yang sangat tinggi, tidak menggunakan arus listrik, tidak terpengaruh oleh medan listrik maupun medan magnet, dimensinya kecil dan ringan serta dapat dimonitor dari jauh [1].

Fiber optik sensor dapat digunakan untuk mendeteksi beberapa besaran fisis seperti temperatur [1][2], regangan [3], kelembaban udara [4], pergeseran [5][6], *stress dan strain* [7], kekeruhan [8]. Selain itu fiber optik sensor juga dapat digunakan untuk mendeteksi konsentrasi larutan dengan memanfaatkan perubahan indeks bias pada larutan seiring berubahnya kerapatan atau konsentrasi larutan yang diuji. Pada penelitian ini dilakukan pengujian sensor konsentrasi larutan NaCl menggunakan *plastic optical fiber* (POF) *multimode* FD-620-10 berbasis *directional coupler* (DC) dengan *probe sensing* di salah satu ujungnya dengan menambahkan cermin datar. Penggunaan cermin datar ini digunakan sebagai pengembangan cermin cekung yang telah

digunakan untuk mengukur pergeseran [9]. Dan juga penggunaan cermin datar ini sebagai bentuk pengembangan dari pekerjaan sebelumnya yang menggunakan struktur W [10]. Perubahan loss cahaya pada probe sensing seiring berubahnya konsentrasi larutan NaCl membuat cahaya yang terdeteksi mengalami perubahan dan dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi larutan NaCl. Bentuk probe pada penelitian ini digunakan yang berbentuk

Perumusan dari indeks bias dari larutan dapat diperoleh melalui peristiwa deviasi ketika cahaya melewati sebuah prisma. Deviasi yang dihasilkan oleh prisma bergantung terhadap sudut datang dari cahaya. Tinjau seberkas cahaya yang mengalami deviasi dengan sudut deviasi minimum  $\alpha_m$  dan dibiaskan dengan sudut bias  $\theta_r$ , maka indeks biasnya dapat dituliskan dalam persamaan,

$$n = \frac{\sin(\theta_r + \alpha_m/2)}{\sin(\theta_r/2)} \quad (1)$$

Persamaan ini hanya berlaku pada indeks bias air murni tanpa campuran apa-apa. Jika air dicampur dengan garam, maka volumenya akan bertambah sehingga volume total dari larutan adalah volume air ditambah volume garam. Pengaruh konsentrasi larutan garam pada air akan mengubah indeks bias dengan perubahan yang linear, secara matematis dapat dituliskan,

$$n' = n_w + (n_s - n_w) V_s/V' \quad (2)$$

dengan  $n'$  adalah indeks bias dari air,  $n_w$  indeks bias air,  $n_s$  indeks bias garam,  $V_s$  volume garam, dan  $V'$  volume total larutan [11].

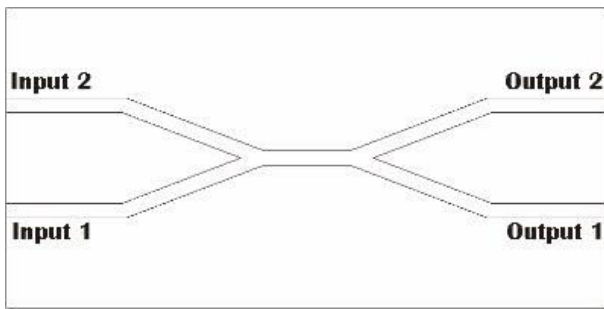
## II. METODOLOGI

Secara umum, percobaan dilakukan dengan beberapa tahap, tahap pertama adalah fabrikasi DC, selanjutnya karakterisasi DC menggunakan cahaya merah dengan alat BF5R-D1-N, tahap terakhir adalah pengujian DC sebagai sensor konsentrasi larutan NaCl.

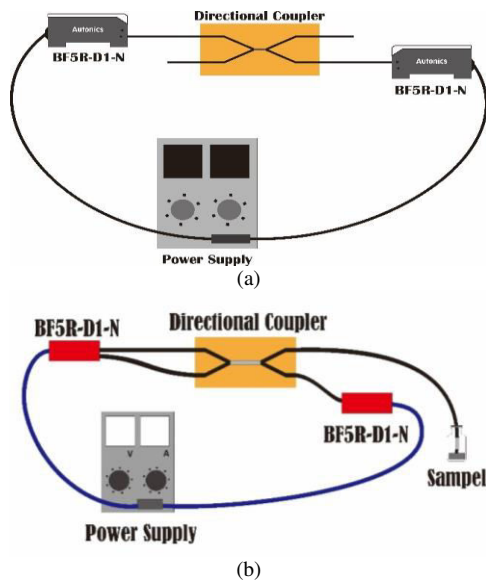
### A. Fabrikasi *Directional Coupler*

Fabrikasi DC dilakukan dengan teknik pengupasan *coating*, kemudian perendaman daerah kupasan pada campuran aseton dan alkohol serta yang terakhir penggabungan dua buah fiber pada wadah akrilik. Setelah melalui proses perendaman, *cladding* pada daerah kupasan fiber akan terkelupas dan hanya menyisakan *core* yang sangat kecil dan jika pada fiber ditransmisikan sinar laser merah, maka pada daerah kupasan akan didapatkan kebocoran dan terlihat cahaya merah yang sangat terang.

Peristiwa ini menunjukkan adanya medan dari moda cahaya keluar dari *core* dan moda tersebut akan mengalami



Gambar 1. Skema karakterisasi menggunakan BF5R-D1-N



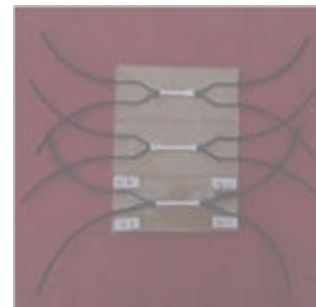
Gambar 2. Setup alat peralatan untuk (a) Karakterisasi DC menggunakan BF5R-D1-N (b) Pengujian indeks bias larutan NaCl

*coupling* ketika dipasang dengan fiber lainnya dan dapat diamati secara kualitatif. Kedua buah fiber yang sudah terkopling akan dimasukkan ke dalam wadah, penggunaan wadah akrilik dimaksudkan agar bentuk dari DC tidak mengalami perubahan, karena seperti diketahui pantulan dari cahaya sangat bergantung pada bentuk permukaan, ketika bentuk DC tidak menentu alias berubah-ubah, maka arah pantulan cahaya juga akan berubah dan akhirnya menyebabkan daya *output* yang tidak menentu. Dilakukan variasi daerah kontak dengan panjang interaksi 20, 25, dan 30 mm.

**B. Karakterisasi DC**

Karakterisasi DC dilakukan menggunakan dua buah sensor BF5R-D1-N. BF5R-D1-N pertama digunakan sebagai sumber *input* cahaya merah dengan panjang gelombang 660nm dan BF5R-D1-N kedua digunakan sebagai detektor. Proses karakterisasi juga dilakukan pada tegangan yang konstan yaitu pada tegangan sekitar 13 Volt, hal ini bertujuan agar cahaya yang dihasilkan BF5R-D1-N memiliki intensitas yang cukup konstan.

Langkah pertama untuk karakterisasi DC adalah dengan mengukur intensitas dari cahaya yang dihasilkan oleh BF5R-D1-N dengan cara menyambungkan kedua buah BF5R-D1-N menggunakan fiber optik lurus dengan panjang 50 cm, salah satu ujung fiber optik dihubungkan dengan *port* laser sedangkan ujung lainnya dihubungkan dengan *port* detektor pada BF5R-D1-N yang berbeda, cahaya didalam fiber optik akan mengalami pemantulan dalam total dan sehingga menyebabkan cahaya terpandu dengan arah propagasi menuju ujung fiber yang dihubungkan dengan



Gambar 3. DC hasil fabrikasi dengan tiga variasi panjang interaksi.

Tabel 1. Data Karakterisasi DC

Panjang Interaksi	In put	Out put	Intensitas (au)	Intensitas Output Total	CR (%)
20 mm	1	1	1410	2092	67,40
		2	682		32,60
	2	1	563	2381	23,65
		2	1818		76,35
25 mm	1	1	2540	3049	83,31
		2	509		16,69
	2	1	591	2740	21,57
		2	2149		78,43
30 mm	1	1	1976	2567	76,98
		2	591		23,02
	2	1	1051	2979	35,28
		2	1928		64,72

detektor, pada proses ini didapatkan nilai intensitas cahaya yaitu 3999 au.

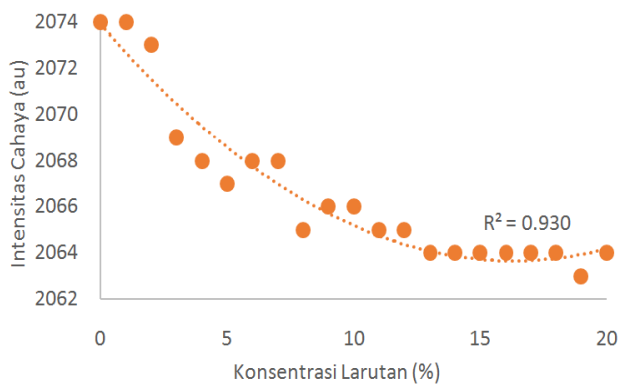
BF5R-D1-N yang digunakan sebagai sumber cahaya dihubungkan pada dua *portinput* (Gambar 1) pada setiap DC dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan pembagian intensitas yang dihasilkan untuk masing-masing *portinput* (*input* 1 dan *input* 2). BF5R-D1-N yang digunakan sebagai detektor dihubungkan pada *portoutput* dan dilakukan pengukuran nilai intensitas keluaran dari masing-masing *output* tersebut (*output* 1 dan *output* 2), dari hasil pengukuran tersebut akan diketahui hasil karakterisasi dari DC yang telah di fabrikasi. Set-up peralatan untuk karakterisasi DC seperti ditunjukkan Gambar 2(a).

**C. Pengukuran konsentrasi NaCl**

Setelah proses karakterisasi, DC kemudian dapat digunakan sebagai sensor konsentrasi NaCl. Larutan NaCl dibuat dengan mencampurkan beberapa gram NaCl ke dalam 100 ml aquades, jumlah massa garam di setiap konsentrasi larutan diperoleh melalui perhitungan konsentrasi larutan.

Garam yang dimasukkan ke dalam aquades kemudian dilarutkan dengan cara diaduk menggunakan *magnetic stirrer*, proses pengadukan dilakukan dengan memasukkan magnet batang ke dalam larutan yang akan dibuat kemudian larutan diletakkan diatas *magnetic stirrer* lalu *magnetic stirrer* dinyalakan sehingga membuat magnet batang pada larutan akan berputar, perputaran ini terjadi akibat medan elektromagnetik yang juga dihasilkan perputaran magnet di bawah *plate* dari *magnetic stirrer* ketika dialiri listrik. Setelah larut, larutan NaCl dimasukkan ke dalam botol kecil yang digunakan sebagai wadah untuk sensor. Larutan uji (NaCl) dibuat dengan variasi konsentrasi dari nol hingga konsentrasi 20%.

DC yang digunakan untuk pengujian konsentrasi NaCl dipilih DC dengan panjang interaksi 30 mm dengan *coupling ratio* 65% : 35%. *Probe sensing* yang sudah



Gambar 4. Grafik hubungan intensitas cahaya terhadap konsentrasi larutan NaCl

terpasang cermin datar dimasukkan ke dalam wadah yang berisi larutan NaCl. Saat proses pengujian, cahaya dengan panjang gelombang 660 nm yang dihasilkan BF5R-D1-N dikirimkan melalui port input dari sensor, cahaya tersebut dipandu oleh fiber dan saat melewati daerah interaksi intensitas cahaya akan dibagi sesuai coupling rasionya, artinya 65 % dari intensitas cahaya yang dikirimkan menuju *probe sensing*, setelah itu cahaya akan mengenai cermin datar dan dipantulkan kembali, sehingga cahaya akan kembali terkopling dan 35 % dari cahaya yang terpantul akan menuju *sensing port* dan nilai intensitas cahaya terbaca pada BF5R-D1-N. Set-up peralatan untuk pengukuran konsentrasi NaCl seperti ditunjukkan Gambar 2(b).

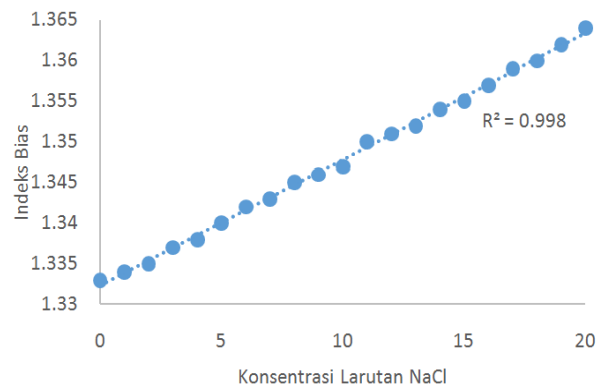
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 menunjukkan DC hasil fabrikasi dengan 3 variasi panjang interaksi 20, 25, dan 30 mm. Tampak dalam gambar bahwa DC dari kopling fiber optik plastik yang telah ditanamkan ke dalam wadah akrilik untuk menghindari pergeseran fiber optik yang mungkin terjadi karena pergerakan ketika DC ini digunakan dalam karakterisasi maupun ketika digunakan dalam pengukuran konsentrasi larutan NaCl.

#### A. Karakterisasi DC Menggunakan BF5R-D1-N

Pada Tabel 1 disajikan nilai intensitas yang terukur, total intensitas *output* dan CR (*coupling ratio*) untuk setiap panjang interaksi dari DC. *Input 1* dan *output 1* merupakan port untuk fiber 1 dan *input 2* dan *output 2* merupakan port untuk fiber 2, sehingga port dengan indeks yang sama (*input 1* dengan *output 1*, begitupun pada port 2) memiliki posisi yang sejajar, sedangkan port dengan indeks yang berbeda (*input 1* dan *output 2* begitupun sebaliknya) memiliki posisi yang berseberangan.

Dari nilai intensitas yang telah diperoleh, dapat diketahui nilai *coupling ratio* yang merupakan prosentase dari perbandingan intensitas *output* terhadap intensitas *output* total, dan dapat dilihat bahwa semua intensitas *output* pada masing-masing port untuk semua DC mempunyai intensitas yang berbeda, *port output* dengan posisi yang sejajar terhadap *input* cenderung memiliki nilai intensitas yang lebih besar, DC yang memiliki perbandingan *coupling ratio* yang timpang pada panjang interaksi 25mm saat digunakan *input 1* sebagai port masukan cahaya dari BF5R-D1-N, perbandingannya berkisar 83%:17%, sementara itu nilai *coupling ratio* yang cukup seimbang berada pada panjang interaksi 30mm saat digunakan *input 2* sebagai port



Gambar 5. Hubungan indeks bias terhadap konsentrasi larutan NaCl.

masukannya cahaya dengan perbandingan berkisar 35%:65%. Suatu DC dikatakan baik dalam membagi intensitas apabila memiliki selisih nilai *coupling ratio* untuk setiap port yang kecil, artinya DC ideal memiliki nilai *coupling ratio* 50%:50% dan intensitas pada masing-masing *port output* memiliki nilai yang sama.

Seperti yang dibahas sebelumnya, bahwa nilai intensitas pada *port output* yang sejajar cenderung memiliki nilai yang lebih tinggi dan menyebabkan *coupling ratio* dari beberapa data memiliki nilai yang timpang, secara teori medan dari moda cahaya terpandu memiliki nilai terbesar pada pusat sumbu propagasi, artinya moda cahaya sangat bergantung pada arah propagasi cahaya, *coupling* dapat terjadi karena adanya medan dari moda yang *overlap* dari fiber dan terdistribusi pada fiber lain yang berdekatan, jika kondisi fiber ideal maka semua berkas cahaya pada fiber akan dipropagasikan ke arah sumbu pusat propagasi dan moda yang *overlap* akan memiliki nilai maksimum, namun pada kenyataannya sangat sulit untuk menciptakan kondisi fiber yang ideal, salah satu faktor ketidakidealan fiber pada penelitian ini yaitu setelah *core* direndam pada aseton, *core* tidak serta merta memiliki permukaan yang halus, namun masih sedikit kasar dan menyebabkan terjadinya gelombang *evanescent* pada cahaya laser, peristiwa ini mengakibatkan sebagian cahaya terhambur keluar dengan arah perambatan yang acak dan tidak semua cahaya terpropagasi pada sumbu propagasi yang seharusnya, sehingga moda yang *overlap* pun juga tidak maksimum dan mengakibatkan intensitas *output* yang terukur pada port yang berseberangan memiliki nilai yang kecil.

#### B. Pengujian Konsentrasi dan Indeks Bias Larutan NaCl

Gambar 4 menunjukkan grafik hubungan intensitas cahaya terhadap konsentrasi larutan NaCl. Tampak dalam Gambar 4 bahwa nilai intensitas cahaya terbesar yaitu pada konsentrasi 0% dengan nilai 2074 au dan terkecil pada konsentrasi 19% dengan nilai 2063 au. Jika dilihat lebih seksama, intensitas cahaya hanya mengalami penurunan dari rentang konsentrasi 0 – 12 % yaitu dari 2074 au menuju 2065 au, setelah itu pada rentang konsentrasi 13 – 20 % nilai intensitas cahaya tidak mengalami penurunan yaitu tetap pada angka 2064 (kecuali larutan dengan konsentrasi 19%), dari peristiwa ini dapat dikatakan bahwa indeks bias dari larutan dengan konsentrasi 13% memiliki nilai yang sama dengan indeks bias pada core, sehingga pada probe sensing tidak terjadi lagi pemantulan internal total yang menyebabkan intensitas yang terdeteksi tetap sama, sehingga dapat dikatakan pula bahwa sensor yang dibuat memiliki daerah kerja dengan konsentrasi 0-12%. Hasil ini

masih lebih rendah dibandingkan hasil pengukuran konsentrasi NaCl sebelumnya [10] yang mencapai rentang pengukuran larutan NaCl 5 molar. Tetapi dari bentuk probe sensing yang digunakan dalam penelitian ini lebih sederhana.

Juga terlihat dalam Gambar 4 bahwa semakin besar konsentrasi larutan yang digunakan maka nilai intensitas akan mengalami penurunan, hal ini menunjukkan bahwa semakin pekat larutan NaCl yang digunakan maka *losses* pada *probe sensing* semakin besar sehingga intensitas yang terdeteksi pada *sensing port* mengalami penurunan.

Untuk analisis lebih lanjut diperlukan data indeks bias pada setiap larutan yang digunakan. Pengambilan data indeks bias dilakukan menggunakan refraktometer. Gambar 5 menunjukkan hubungan indeks bias terhadap konsentrasi larutan NaCl.

Tampak dalam Gambar 5 bahwa semakin besar konsentrasi larutan, maka nilai indeks biasanya akan semakin besar, hal ini disebabkan karena larutan dengan konsentrasi yang besar memiliki struktur yang lebih pekat yang menjadikannya sebagai medium yang lebih rapat. Dari Gambar 5 juga jelas terlihat bahwa indeks bias dan konsentrasi larutan berbanding lurus dan memiliki hubungan yang linier. Analisis indeks bias ini dapat menjelaskan fenomena menurunnya intensitas yang terdeteksi seiring bertambahnya konsentrasi larutan, hal yang sebenarnya terjadi adalah ketika konsentrasi larutan ditambah, maka nilai indeks biasanya juga bertambah secara linier, sementara itu pada saat dilakukan *sensing*, larutan NaCl akan berperan sebagai *cladding* pengganti dari *sensing probe*, bertambahnya indeks bias dari larutan NaCl menyebabkan nilai sudut kritis membesar, seperti diketahui, cahaya yang terpandu hanyalah cahaya dengan sudut datang yang melebihi nilai sudut kritis, semakin membesarnya sudut kritis menyebabkan cahaya yang terpandu semakin sedikit dan intensitas yang terdeteksi pada detektor BF5R-D1-N juga menurun.

#### IV. KESIMPULAN

Piranti directional coupler dari bahan fiber optik plastik telah berhasil dibuat dengan variasi panjang interaksi 20, 25

dan 30 mm. *Coupling ratio* terbaik dengan perbandingan 35%:65% didapatkan untuk panjang interaksi 30 cm. Sensor fiber optik plastik dengan struktur *directional coupler* dengan panjang interaksi 30 mm dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi larutan NaCl dengan hasil yang baik ketika konsentrasi larutan NaCl dalam rentang 0-12%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Samian and G. Yudoyono, "Aplikasi Multimode Fiber Coupler sebagai Sensor Temperatur," *J. Fis. dan Apl.*, vol. 6, no. 1, p. 100104, Jan. 2010.
- [2] H. R. B. A. Rahim, M. Q. Bin Lokman, S. W. Harun, J. Dutta, and W. S. Mohammed, "TEMPERATURE SENSING BY SIDE COUPLING OF LIGHT THROUGH ZINC OXIDE NANORODS ON OPTICAL FIBERS," *Sensors Actuators A Phys.*, vol. 257, pp. 15–19, Apr. 2017.
- [3] P. Puranto, R. D. Desiati, E. Sugiarti, and T. B. Waluyo, "Studi Awal Pembuatan Sistem Sensor Pengukuran Regangan suatu Bahan menggunakan Fiber Optik Plastik Berbasis Data Akuisisi," *J. Fis. dan Apl.*, vol. 3, no. 1, p. 70102, Jan. 2007.
- [4] F. Febrielyanti, H. Harmadi, D. Dahlan, and Y. Rilda, "Rancang Bangun Sensor Kelembaban Udara menggunakan Plastic Optical Fiber (POF) dengan Cladding TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> dan Data Transmisi," *J. Fis. dan Apl.*, vol. 15, no. 1, p. 29, Jan. 2019.
- [5] Y. H. Pramono, A. Y. Rohedi, and S. Samian, "Aplikasi Directional Coupler Serat Optik sebagai Sensor Pergeseran," *J. Fis. dan Apl.*, vol. 4, no. 2, p. 80204, Jun. 2008.
- [6] A. Mubasiroh, A. Mubasiroh, and G. Yudoyono, "Aplikasi Directional Coupler dan Double Coupler sebagai Sensor Pergeseran Mikro," *J. Sains dan Seni ITS*, vol. 2, no. 2, pp. B42–B45, Sep. 2013.
- [7] E. Sugiarti, R. D. Desiati, P. Puranto, E. T. Astuti, and T. B. Waluyo, "Evaluasi Perancangan Sensor Fiber Optik Plastik untuk Pengukuran Stress dan Strain," *J. Fis. dan Apl.*, vol. 3, no. 2, p. 70203, Jun. 2007.
- [8] S. Yeoh, M. Z. Matjafri, K. N. Mutter, and A. A. Oglat, "Plastic fiber evanescent sensor in measurement of turbidity," *Sensors Actuators A Phys.*, vol. 285, pp. 1–7, Jan. 2019.
- [9] M. Yasin, S. W. Harun, and H. Ahmad, "Fiber optic displacement sensor based on micro-thickness measurement using bundled fiber and concave mirror," *J. Optoelectron. Adv. Mater.*, vol. 13, no. 8, pp. 933–935, 2011.
- [10] R. Wibowo and A. Rubiyanto, "Desain Sensor Konsentrasi Larutan NaCl Menggunakan Serat Optik Moda Jamak dengan Model W-System," *J. Sains dan Seni ITS*, vol. 1, no. 1, pp. B70–B72, Sep. 2012.
- [11] V. Biradar, S. Dongarge, and U. Biradar, "33 U Refractive Index of Salt (NaCl) from Aquous Solution," 2015.