

Rancang Bangun Alat Ukur Konsentrasi Oksigen yang Dihasilkan oleh Fotobioreaktor Mikroalga *Chlorella Vulgaris*

¹Aminah Nurrahmawati, ²Dr. Harmadi, ³Nadya Okta Biolita

^{1,2,3}Jurusan Fisika Universitas Andalas

¹aminahnurrahma@yahoo.co.id

²harmadimsi@yahoo.co.id

³nadyaoktabiolita@gmail.com

Abstrak

Telah dilakukan perancangan alat ukur konsentrasi oksigen yang dihasilkan oleh fotobioreaktor mikroalga *Chlorella vulgaris*. Sensor yang digunakan adalah sensor SK-25F dengan penguat *non-inverting* sebagai pengondisi sinyal. Penguat *non-inverting* digunakan untuk menguatkan tegangan keluaran sensor yang masih dalam skala mV supaya dapat diproses oleh mikrokontroler Atmega328 pada Arduino Uno R3. Pengukuran dilakukan pada dua fotobioreaktor yakni fotobioreaktor yang disuplai dan yang tidak disuplai CO₂ dan menggunakan tiga jenis sumber cahaya yaitu lampu halogen, LED dan cahaya matahari, selain itu, pengukuran juga dilakukan pada fotobioreaktor pada keadaan tanpa cahaya (0 lux). Nilai konsentrasi oksigen maksimum dihasilkan oleh fotobioreaktor yang disuplai dengan CO₂. Persen *error* rata-rata alat yang dirancang sebesar 1,383% yang didapatkan dengan membandingkan nilai alat yang dirancang dengan alat ukur acuan (Gas Alert Microclip).

Keywords: fotobioreaktor, mikroalga *Chlorella vulgaris*, sensor SK-25F, penguat *non-inverting*, mikrokontroler Atmega328, Arduino Uno R3.

1 Pendahuluan

Global warming (pemanasan global) semakin hari semakin meningkat seiring dengan munculnya pabrik-pabrik industri di dunia yang menghasilkan limbah dalam bentuk gas rumah kaca termasuk di dalamnya adalah emisi gas karbon dioksida. Salah satu penanganan untuk mengurangi pemanasan global seperti pembuatan bioreaktor dengan menggunakan mikroalga [1]. Keuntungan penggunaan mikroalga dalam proses mitigasi emisi gas karbon dioksida adalah prosesnya berjalan alami dan sangat ramah lingkungan, mudah dikembangkan serta memiliki potensi untuk mengurangi gas rumah kaca [3].

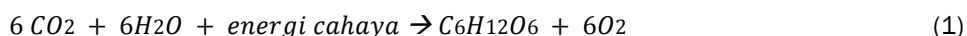
Fotobioreaktor merupakan bioreaktor yang digabungkan dengan sumber cahaya tertentu sebagai asupan energi cahaya kedalam reaktor [7]. Mikroalga dapat digunakan sebagai reaktor pada fotobioreaktor dan fotosintesis merupakan reaksi yang terjadi di dalamnya. Secara teknis, fotobioreaktor menggunakan emisi karbon dioksida yang diinjeksikan ke fotobioreaktor berisi mikroalga dengan media air (H₂O). Mikroalga mengikat karbon dioksida dan menghasilkan oksigen dengan bantuan sumber cahaya. Alat ukur konsentrasi oksigen diperlukan untuk mengetahui berapa konsentrasi oksigen yang dihasilkan oleh suatu fotobioreaktor. Ersan [5] telah merancang alat ukur konsentrasi oksigen dengan menggunakan sensor KE-50, namun alat tersebut digunakan untuk mengukur konsentrasi oksigen yang diemisi oleh kendaraan bermotor sehingga alat tersebut tidak cocok untuk

fotobioreaktor. Alat ukur konsentrasi oksigen untuk mengukur konsentrasi oksigen yang dihasilkan oleh fotobioreaktor telah dirancang oleh Daniyati [4] dengan menggunakan sensor KE-50 dengan PC sebagai penampil, namun dengan penggunaan PC sebagai penampil menyebabkan pengukuran dinilai rumit dan tidak *portable*. Penulis merancang alat ukur konsentrasi oksigen untuk fotobioreaktor dengan menggunakan sensor SK-25F dengan *penguat non-inverting* sebagai pengondisi sinyal dan LCD sebagai penampil. Penggunaan LCD sebagai penampil bertujuan supaya alat yang dirancang menjadi *portable* dan praktis dalam penggunaannya. Penulis memilih sensor SK-25F karena linearitas sensor yang baik, memiliki keluaran yang stabil dan tidak terpengaruh oleh gas CO₂, CO, H₂, H₂s, NO [7].

2 Referensi

2.1 Fotobioreaktor

Fotobioreaktor merupakan reaktor buatan yang memanfaatkan sumber cahaya sebagai sumber fotosintesis untuk pertumbuhan mikroalga. Fotobioreaktor ini sendiri menggunakan beberapa tipe sumber cahaya seperti sinar matahari (*day light lamp*), lampu *fluorescent*, lampu halogen atau LED [9]. Fotobioreaktor awalnya digunakan untuk memproduksi biomasa namun, seiring berkembangnya zaman fotobioreaktor pun mampu dikembangkan untuk berbagai penelitian termasuk menangkap kadar karbon dioksida dan menghasilkan konsentrasi oksigen. Fotobioreaktor merupakan bioreaktor yang menggunakan sumber cahaya dan digabungkan ke dalam sistem reaktor dan mikroalga jenis *Chlorella vulgaris* sebagai reaktor. Reaksi yang terjadi di dalam fotobioreaktor adalah fotosintesis dengan persamaan :



2.2 Persen Konsentrasi

Konsentrasi dapat diartikan sebagai ukuran yang menentukan banyaknya zat yang berada di dalam suatu campuran dan dibagi dengan volume total pada campuran tersebut. Konsentrasi dinyatakan pada satuan fisik, seperti halnya satuan volume, satuan kimia, ataupun satuan berat seperti mol, ekuivalen dan massa rumus. Konsentrasi berhubungan dengan persen konsentrasi, ppm (*part per million*) atau ppb (*part per billion*), fraksi mol, molaritas, dan molalitas. Persen digunakan untuk menyatakan volume konsentrasi suatu campuran. Persen konsentrasi dapat dibagi menjadi persen volume dan persen berat [3]. Untuk menghitung persen volume digunakan rumus :

$$\% \text{ volume} = \frac{\text{Volume oksigen}}{\text{volume udara keseluruhan}} \times 100\% \quad (2)$$

Konsentrasi gas sangat dipengaruhi oleh perubahan tekanan, hal ini terlihat pada persamaan (3) dan (4) :

$$PV = nRT \quad (3)$$

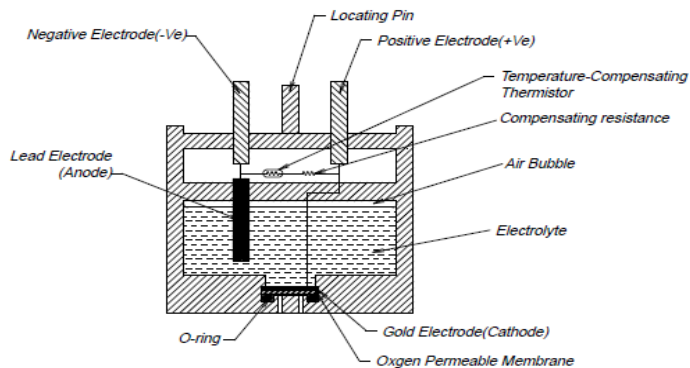
$$P = \left(\frac{n}{V}\right)RT \quad (4)$$

P dan V berbanding terbalik, semakin besar tekanan, semakin kecil volume dan sebaliknya. (n/V) adalah konsentrasi gas dalam mol per liter, dan berbanding lurus dengan tekanan.

2.3 Sensor Oksigen SK-25F

Sensor sering didefinisikan sebagai suatu piranti yang dapat menerima dan merespon suatu sinyal atau stimulus. Tujuan dari suatu sensor adalah untuk merespon suatu stimulus dan mengonversikannya ke sinyal elektrik. Keluaran dari suatu sensor dapat berupa tegangan, arus, resistansi atau muatan [8]. Syarat suatu piranti disebut sebagai sensor adalah memiliki linearitas, tanggapan terhadap waktu serta sensitifitas terhadap suatu besaran. Linearitas sensor disini maksudnya adalah ada banyak sensor yang menghasilkan keluaran yang kontinyu terhadap masukan yang kontinyu, untuk sensor yang digunakan pada penelitian ini yakni sensor oksigen yang dapat menghasilkan tegangan sesuai dengan konsentrasi oksigen yang diterima oleh sensor. Sensitifitas sensor menunjukkan seberapa peka suatu sensor terhadap besaran yang diukur, sensitifitas sensor dapat dinyatakan dengan angka yang menunjukkan perubahan keluaran (besaran elektrik) dibandingkan dengan perubahan masukan. Respon terhadap waktu maksudnya disini adalah seberapa cepat tanggapan suatu sensor terhadap perubahan masukan.

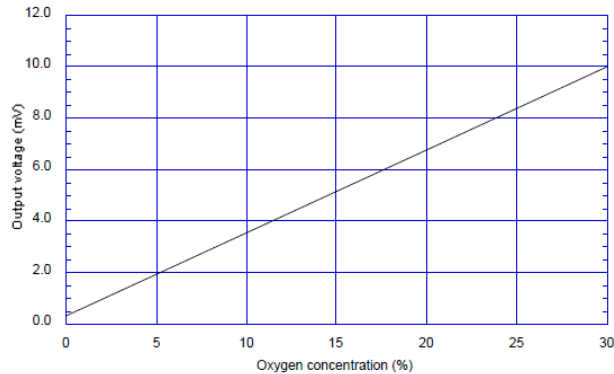
Sensor SK-25F mempunyai struktur sama dengan baterai yaitu terdiri dari elektroda dan elektrolit. Elektroda dibagi menjadi anoda berupa timbal (Pb) dan katoda yang terbuat dari emas (Au) serta elektrolit berupa asam lemah atau *alkaline*. Elektroda emas merupakan suatu padatan yang berupa selaput yang tidak berongga (*non-porous membrane*). Gambar 1 menunjukkan skema dari sensor SK-25F.



Gambar 1 Struktur sensor oksigen SK-25F

Oksigen yang masuk ke dalam sensor direduksi pada elektroda emas dengan reaksi elektrokimia. Anoda dan katoda dihubungkan dengan sebuah termistor dan resistor. Resistansi dua resistor ini mengubah arus yang terjadi akibat reaksi elektrokimia menjadi tegangan. Besar arus yang mengalir pada dua resistor dipengaruhi oleh banyak oksigen yang tertangkap oleh membran elektroda. Tegangan analog merupakan keluaran sensor

oksigen SK-25F. Gambar 2 menunjukkan karakteristik sensitifitas sensor oksigen SK-25F [7].

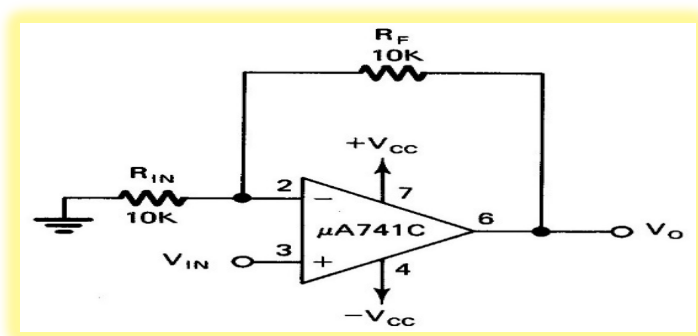


Gambar 2 Karakteristik sensitifitas sensor oksigen SK-25F

2.4 Rangkaian Penguat *Non-Inverting*

Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh sensor SK-25F masih dalam skala mV, sehingga dibutuhkan suatu pengondisi sinyal. Pengondisi sinyal digunakan bagi elemen yang mengubah keluaran sensor untuk diproses lebih lanjut [2]. Penguat *non-inverting* digunakan sebagai pengondisi sinyal pada sensor oksigen agar dihasilkan tegangan keluaran yang lebih besar sehingga dapat terbaca oleh mikrokontroler. Rangkaian penguat *non-inverting* dapat digunakan untuk menguatkan sinyal *alternating current* (ac) maupun *direct current* (dc) dengan keluaran yang tetap sefasa dengan sinyal masukannya. Impedansi masukan dari rangkaian penguat *non-inverting* berharga sangat tinggi dengan nilai impedansi sekitar 100 M Ω [8].

Penguat non Inverting merupakan penguat yang berfungsi memperkuat sinyal tanpa membalik sinyal masukan. Pada penguat *non-inverting* sinyal masukan dimasukkan ke kaki *non-inverting* (+) op-amp [10]. Amplitudo keluaran dari rangkaian penguat non inverting akan naik turun mengikuti naik turunnya masukan [11]. Rangkaian untuk penguat *non-inverting* yang berdasarkan sebuah op-amp diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Skema rangkaian penguat *non-inverting*

Besarnya tegangan keluaran diberikan pada persamaan :

$$V_o = \left[1 + \frac{R_f}{R_i} \right] V_i \quad (5)$$

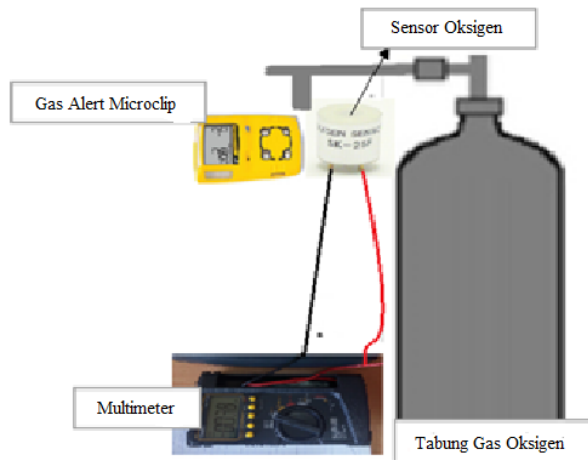
Sedangkan besar penguatan tegangannya adalah :

$$A = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_f}{R_i} \quad (6)$$

3 Metode Penelitian

3.1 Karakterisasi Sensor SK-25F

Karakterisasi sensor oksigen dilakukan dengan bervariasi konsentrasi oksigen yang dialirkan ke sensor. Nilai konsentrasi oksigen yang dialirkan ke sensor diukur menggunakan Gas Alert Microclip. Nilai konsentrasi oksigen yang terukur pada alat ukur dibandingkan dengan tegangan keluaran yang dihasilkan oleh sensor SK-25F. Skema proses pengkarakterisasian sensor oksigen SK-25F dapat dilihat pada Gambar 4.

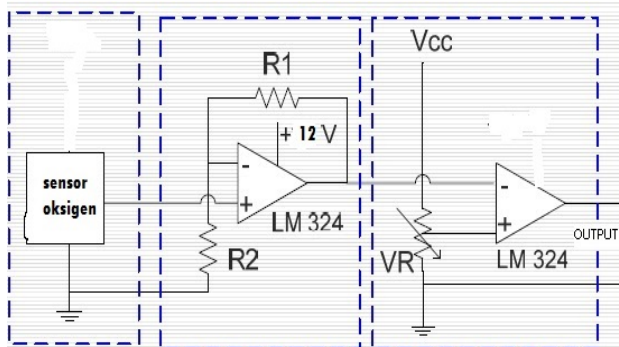


Gambar 4 Skematik karakterisasi sensor dengan menggunakan Gas Alert Microclip

Karakterisasi sensor dilakukan dengan cara sensor dan alat ukur diposisikan tepat di dekat cerobong tabung gas oksigen. Tegangan keluaran sensor dibandingkan dengan nilai konsentrasi yang terukur pada alat ukur konsentrasi oksigen. Lima variasi nilai konsentrasi oksigen diambil lalu dicatat tegangan keluaran dari sensor untuk setiap nilai konsentrasi oksigen yang diberikan.

3.2 Perancangan Rangkaian Pengondisi Sinyal

Sensor oksigen SK-25F memiliki tegangan keluaran yang masih dalam skala mV. Keluaran sensor yang masih dalam skala mV menyebabkan keluaran sensor tidak dapat terbaca oleh mikrokontroler, sehingga dibutuhkan suatu elemen pengondisi sinyal berupa penguat *non-inverting*. Penguat *non-inverting* dipilih untuk menguatkan tegangan keluaran sensor menjadi 0-5 V agar dapat dibaca oleh mikrokontroler. Skematik rangkaian penguat *non-inverting* dapat dilihat pada Gambar 5.

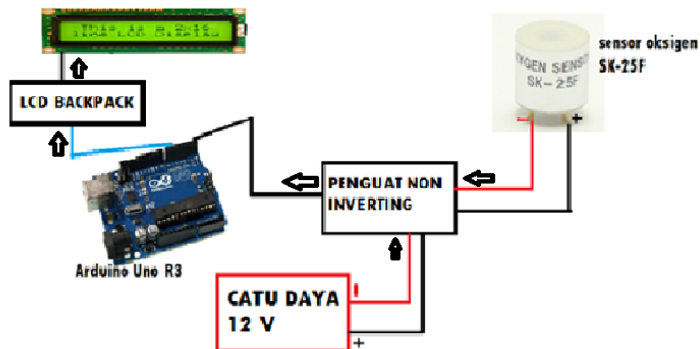


Gambar 5 Skematik rangkaian penguat *non-inverting*

Cara kerja rangkaian tersebut adalah keluaran dari sensor dihubungkan langsung ke masukan *non-inverting* op-amp. Masukan dimulai dari kaki (+) sensor SK-25F masuk ke kaki (+) op-amp lalu dihubungkan ke port A2 Arduino Uno. IC yang digunakan adalah LM324N dengan $R1 = 1k\Omega$, $R2 = 200k\Omega$, $R3 = 10k\Omega$ dan $R4 = 20k\Omega$. Tegangan untuk suplai adalah catu daya 12 V.

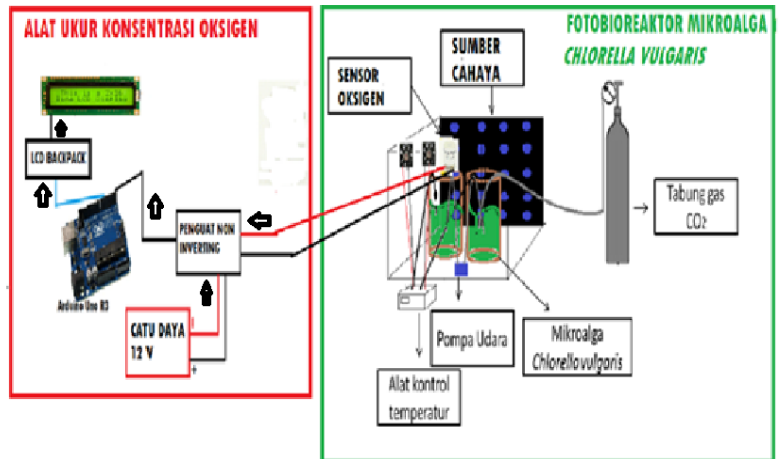
3.3 Rancangan Perangkat Keras Secara Keseluruhan

Gambar 6 memperlihatkan rancangan skematik bentuk fisik alat secara keseluruhan. Rancangan secara umum terdiri atas sensor oksigen SK-25F, rangkaian pengondisi sinyal (penguat *non-inverting*), catu daya 12V, mikrokontroler (pada board Arduino Uno) dan penampil LCD.



Gambar 6 Rancangan skema bentuk fisik alat

Sensor mengindra oksigen, lalu oksigen yang terdeteksi oleh sensor diubah menjadi besaran listrik. Tegangan keluaran sensor dikuatkan dengan rangkaian penguat *non-inverting*, untuk mengaktifkan op-amp pada rangkaian penguat *non-inverting* maka digunakan catudaya 12 V. Tegangan keluaran dari rangkain *non-inverting* yang masih berupa tegangan analog diolah menggunakan ADC untuk bisa diproses oleh mikrokontroler. Nilai konsentrasi oksigen yang terukur oleh alat ditampilkan pada LCD. Rancangan alat ukur yang dihubungkan dengan fotobioreaktor dapat dilihat pada Gambar 7.

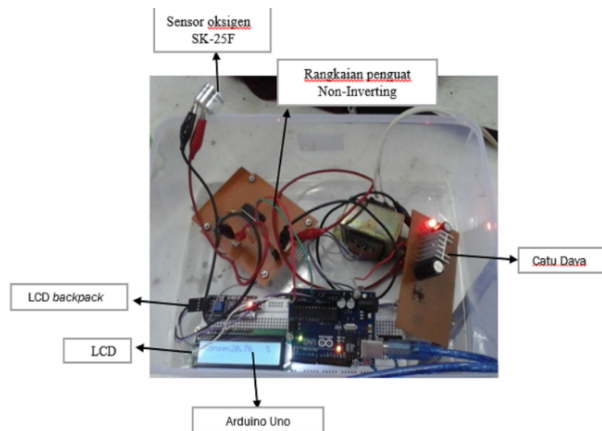


Gambar 7 Rancangan alat ukur konsentrasi oksigen yang dihubungkan dengan fotobioreaktor

Fotobioreaktor terdiri dari dua buah tabung mikroalga *Chlorella vulgaris* dimana salah satu tabung mikroalga diberi suplai karbon dioksida dan tabung mikroalga lainnya tidak diberi suplai karbon dioksida. Sumber cahaya yang digunakan pada fotobioreaktor adalah LED, lampu halogen dan cahaya matahari serta pada keadaan tanpa cahaya (0 lux). Pengukuran dilakukan dengan cara meletakkan sensor diatas fotobioreaktor yang telah dilapisi aluminium foil, lalu oksigen yang dihasilkan oleh fotobioreaktor dideteksi oleh sensor oksigen.

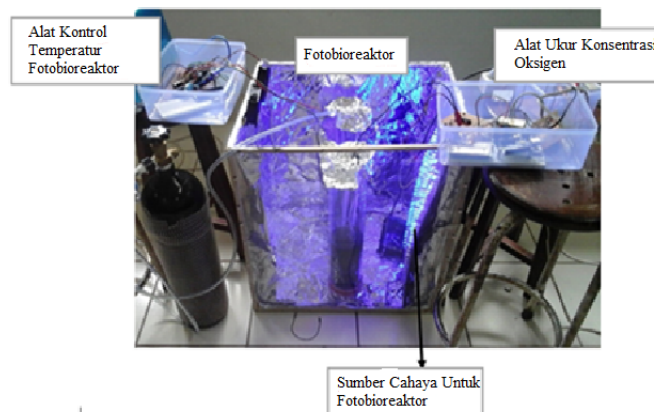
4 Hasil dan Pembahasan

Hasil rancang bangun alat konsentrasi ukur oksigen yang dihasilkan oleh fotobioreaktor dengan menggunakan sensor SK-25F telah dilakukan dengan beberapa pengujian. Pengujian meliputi pengujian perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Hasil rancangan perangkat keras secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8 Hasil rancangan perangkat keras alat ukur konsentrasi oksigen

Gambar 6 memperlihatkan rancangan keseluruhan dari perangkat keras alat ukur konsentrasi oksigen. Perangkat keras keseluruhan sistem yang terdiri dari alat ukur konsentrasi oksigen dan fotobioreaktor dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 bentuk fisik alat keseluruhan

Gambar 9 memperlihatkan hasil rancangan fotobioreaktor dan alat ukur konsentrasi oksigen yang telah terintegrasi dalam satu instalasi. Fotobioreaktor yang terdiri dari sumber cahaya, tabung gas karbon dioksida, dan kontrol temperatur dioperasikan bersamaan dengan alat ukur konsentrasi oksigen.

4.1 Hasil Karakterisasi Sensor SK-25F

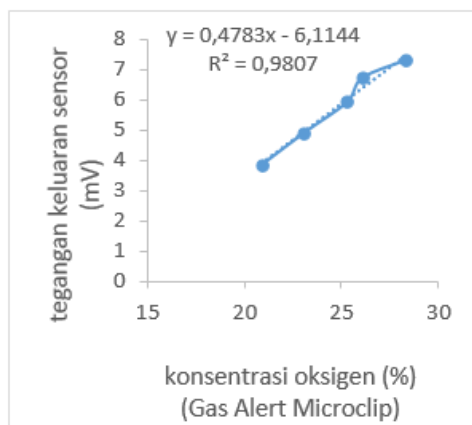
Pengujian awal sensor SK-25F dilakukan dengan melihat perbandingan antara tegangan keluaran pada sensor dengan nilai konsentrasi oksigen pada alat ukur pembandingan. Pengujian dilakukan dengan memberikan beberapa variasi konsentrasi oksigen yang

berasal dari tabung gas oksigen serta dari udara bebas. Data tegangan keluaran dari sensor diambil untuk setiap variasi konsentrasi oksigen dengan menggunakan multimeter digital. Kenaikan tegangan keluaran sensor oksigen SK-25F terjadi seiring bertambahnya persen konsentrasi oksigen. Pengujian ini dilakukan untuk melihat linearitas antara tegangan keluaran sensor. Data karakterisasi tegangan keluaran sensor dengan menggunakan alat ukur konsentrasi oksigen (Gas Alert Microclip) dengan beberapa variasi nilai konsentrasi oksigen dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Data katarakterisasi sensor oksigen dengan menggunakan Gas Alert Microclip (alat ukur acuan)

Konsentrasi oksigen	Tegangan keluaran sensor
20 %	3,3 mV
20,2 %	3,4 mV
20,8 %	3,5 mV
21,2 %	3,6 mV
21,4 %	3,8 mV

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai tegangan keluaran sensor linear dengan nilai konsentrasi oksigen. Setiap kenaikan nilai konsentrasi oksigen mewakili kenaikan nilai tegangan keluaran sensor. Hal ini menunjukkan bahwa nilai tegangan keluaran sensor linear dengan konsentrasi oksigen.



Gambar 10 Fungsi transfer hubungan tegangan keluaran sensor dengan konsentrasi oksigen

Gambar 10 menunjukkan hasil regresi linear antara tegangan keluaran sensor yang dibandingkan dengan konsentrasi oksigen yang terukur pada alat ukur acuan (Gas Alert Microclip). Hasil regresi linear pada gambar (a) yaitu $y = 0,4783x - 6,114$. Variabel x merupakan nilai konsentrasi oksigen dan variabel y merupakan tegangan keluaran dari sensor. Angka $-6,114$ menyatakan nilai tegangan awal sensor saat nilai konsentrasi oksigen

pada alat ukur mendekati nol. Pada setiap perubahan konsentrasi oksigen sebesar 1% mengakibatkan perubahan tegangan sebesar 0,4783 mV. Hasil derajat korelasi linear diperoleh sebesar $R^2 = 0,9807$, nilai ini sudah menunjukkan bahwa hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan nilai konsentrasi oksigen pada alat ukur adalah linear. Fungsi transfer yang diperoleh dari hasil karakterisasi sensor dimasukkan ke *list* program mikrokontroler.

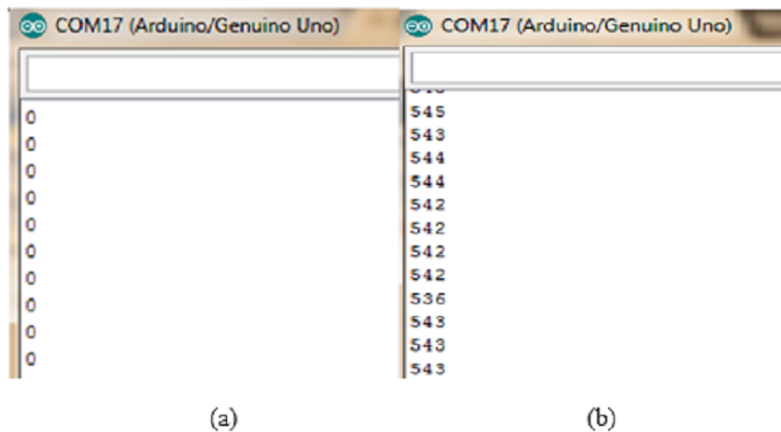
4.2 Hasil pengujian rangkaian penguat *non-inverting*

Tegangan keluaran sensor oksigen yang masih dalam skala mV harus dikuatkan terlebih dahulu agar bisa dibaca oleh Arduino. Tegangan keluaran rangkaian penguat *non-inverting* untuk sensor oksigen dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pengujian Rangkaian Penguat *Non-Inverting*

Konsentrasi Oksigen	Tegangan Keluaran
20,90%	1,5V
23,10%	1,7V
25,30%	2,1V
26,70%	2,2V
28,40%	2,4V

Dari Tabel 2 tampak bahwa tegangan keluaran sensor yang awalnya masih dalam skala mV telah dikuatkan sehingga menjadi skala V. Gambar 11 menunjukkan perubahan nilai ADC sensor oksigen sebelum dan setelah dikuatkan dengan penguat *non-inverting*.



Gambar 11 Nilai ADC sensor sebelum dan sesudah dikuatkan dengan penguat *non-inverting*. (a) Nilai ADC sebelum dikuatkan, (b) Nilai ADC setelah dikuatkan.

Nilai ADC dilihat melalui jendela serial monitor pada *software* Arduino IDE. Gambar (a) merupakan nilai ADC pada saat sensor belum dikuatkan dengan penguat *non-inverting*, pada gambar tampak bahwa keluaran sensor tidak dapat dibaca oleh Arduino yang ditandai dengan munculnya nilai 0 pada layar monitor. Gambar (b) merupakan nilai ADC pada saat

setelah sensor dikuatkan dengan penguat *non-inverting*, dengan munculnya nilai pada layar menunjukkan bahwa keluaran sistem sensor telah terbaca oleh mikrokontroler.

4.3 Hasil Akhir Pengukuran dan Pengolahan Data

Pengujian sistem pengukuran dilakukan untuk melihat keakuratan sistem yang telah dirancang. Hasil pengukuran nilai konsentrasi oksigen yang dihasilkan oleh fotobioreaktor dengan alat yang dirancang dibandingkan dengan alat ukur acuan (Gas Alert Microclip). Hasilnya diuraikan pada Tabel 3. Tabel berwarna putih merupakan data hasil pengukuran pada fotobioreaktor dengan pencahayaan 0 lux, tabel berwarna kuning untuk pengukuran fotobioreaktor dengan sumber cahaya halogen 5000 lux, tabel berwarna biru untuk data hasil pengukuran fotobioreaktor dengan sumber cahaya LED biru 1065 lux, dan tabel berwarna hijau untuk data hasil pengukuran fotobioreaktor dengan sumber cahaya matahari.

Tabel 3 Hasil Pengukuran Konsentrasi Oksigen yang Dihasilkan Fotobioreaktor

Jam Ke -	Konsentrasi oksigen pada alat yang dirancang		Konsentrasi oksigen pada alat ukur acuan (Gas Alert Microclip)		% error	
	Tanpa CO ₂	dengan suplai CO ₂	Tanpa CO ₂	dengan suplai CO ₂	Tanpa CO ₂	Dengan suplai CO ₂
1	19,35 %	19,06 %	19,8%	19,5%	2,72 %	2,25 %
4	19,24%	19,61 %	19,7%	19,4%	2,33 %	0,82 %
7	19,77 %	19,56%	19,6%	19,6%	0,86 %	0,2 %
Rata-rata % error (pencahayaan 0 lux)					1,97 %	1,09 %
1	20,2 %	20,2 %	20,9 %	20,5 %	3,25 %	1,46 %
4	20,96 %	20,84 %	21,0 %	21,0 %	0,19 %	0,76 %
7	20,3 %	20,43 %	20,8 %	20,9 %	2,40 %	2,25 %
Rata-rata % error (Halogen 5000 lux)					1,95 %	1,49 %
1	20,30%	20,51%	20,8 %	20,9 %	2,4 %	1,86 %
4	20,33 %	20,38%	20,4 %	20,6 %	0,34 %	1,07 %
7	20,76 %	20,79 %	20,9 %	21,1 %	0,67%	1,46 %
Rata-rata % error (LED 1065 lux)					1,14 %	1,46 %
1	20,79 %	20,80 %	20,9 %	20,9 %	0,52 %	0,47 %
4	20,91 %	20,89 %	21,1 %	21,3 %	0,9 %	1,92 %
7	20,76 %	20,81 %	21,1 %	21,2 %	1,61 %	1,83 %
Rata-rata % error (Cahaya Matahari)					1,07 %	1,46 %

Hasil pengukuran yang ditunjukkan oleh Tabel 3 menunjukkan bahwa hasil pengukuran konsentrasi oksigen yang dihasilkan oleh fotobioreaktor dengan menggunakan sensor oksigen SK-25F dengan alat acuan hampir sama yang ditandai dengan nilai persen *error* yang kecil. *Error* rata-rata yang didapat dari keseluruhan pengukuran yaitu 1,383 %. Perbedaan nilai pengukuran yang diperoleh antara alat yang dirancang dengan alat ukur konsentrasi oksigen Gas Alert Microclip disebabkan oleh adanya *noise* yang muncul pada rangkaian penguat *non-inverting*, sehingga menyebabkan nilai tegangan keluaran

rangkaian menjadi tidak stabil dan nilai konsentrasi oksigen yang terukur oleh alat yang dirancang sedikit berbeda dari nilai konsentrasi oksigen yang terukur pada alat ukur konsentrasi oksigen.

Dari hasil pengukuran yang didapatkan tampak bahwa, konsentrasi oksigen yang dihasilkan oleh fotobioreaktor yang disuplai dengan CO₂ lebih tinggi daripada yang tidak disuplai hal ini menunjukkan bahwa CO₂ mengoptimalkan proses fotosintesis pada fotobioreaktor. Namun pada fotobioreaktor pada pencahayaan 0 lux konsentrasi oksigen yang dihasilkan oleh fotobioreaktor yang disuplai CO₂ lebih rendah, hal ini disebabkan oleh fotosintesis nyaris tidak terjadi pada kondisi gelap sehingga dengan adanya penambahan CO₂ menyebabkan berkurangnya konsentrasi oksigen yang dihasilkan oleh fotobioreaktor.

5 Referensi

- [1] Bishop, J., dan Davis R., *Autonomous Observing Strategies for The Ocean Carbon Cycle*, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2000.
- [2] Bolton, W., *Sistem Instrumentasi dan Sistem Kontrol*, Erlangga, 2006.
- [3] Chang, R., *Kimia Dasar : Konsep-Konsep Inti*, Edisi Kedua, Erlangga, 2004.
- [4] Chrismadha, T., Sutapa, I., Hidayat, Rosidah, dan Mardiyati, Y., *Pengaruh Cahaya Intermitan terhadap Fotosintesis Kultur Alga Chlorella Vulgaris*, *Jurnal Oseonologi dan Lirnnologi*, Jurusan.Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), 2000.
- [5] Daniyati, R., Yudoyono, G., Rubiyanto, A., *Desain Closed Photobioreaktor Chlorella Vulgaris Sebagai Mitigasi CO₂*, *Jurnal Sains dan Seni ITS*, Jurusan Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), 2012.
- [6] Ersan, L., O., *Pembuatan Pola Tingkat Pembakaran Melalui Deteksi Emisi Gas Buang Pada Motor Bensin Karburator Sistem 4-Tak Menggunakan Sensor Gas Dengan Metode Fast Fourier Transform (FFT)*, skripsi, Jurusan Sistem Komputer FTI Unand, 2013.
- [7] Figaro, SK-25F technical info 1112, Figaro Engineering Inc., 2012.
- [8] Fraden, J., *Handbook of Modern Sensors Physics, Designs and Applications*, Second Edition, Thermoscan, Inc., 1996.
- [9] Hadiyanto, Samidjan, I., Kumoro, A.C., Silviana, *Produksi Mikroalga Berbiomasa Tinggi dalam Bioreaktor Open Pond*, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*, 2012.
- [10] Malvino, A. dan Bates, D. J., *Prinsip Elektronika*, Edisi ketujuh, Erlangga, 1994.
- [11] Tooley, M., 1995, *Rangkaian Elektronik*, Erlangga, 1995.