

Sistem Identifikasi Gas Menggunakan Sensor *Surface Acoustic Wave* dan Metoda Kromatografi

Anifatul Faricha, Muhammad Rivai, Suwito

Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail: muhammad_rivai@ee.its.ac.id

Abstrak— Banyak metode yang digunakan untuk mengidentifikasi suatu gas, salah satunya adalah dengan menggunakan metode kromatografi. Pada umumnya kromatografi gas memiliki prinsip kerja yang didasari dari pemisahan fisik senyawa organik pada suhu tertentu, di mana senyawa tersebut dibawa oleh suatu gas pembawa menuju kolom partisi. Setiap senyawa akan memiliki kecepatan yang berbeda-beda dalam melewati kolom sesuai dengan nilai kepolaran. Dalam penelitian ini telah dibuat sistem identifikasi gas yang menggunakan kolom partisi berbahan dasar thermon-3000 dan shicarbona, serta gas uji yaitu berupa senyawa organik yang meliputi: acetonitril, metanol, dan benzena. Sensor *surface acoustic wave* digunakan sebagai detektor yang memiliki prinsip kerja yaitu terjadi perubahan frekuensi ketika menyerap suatu gas tertentu kemudian menghasilkan respon frekuensi yang berbeda-beda untuk setiap sampel gas yang diujikan. Respon frekuensi dihitung oleh sebuah *device frequency counter* untuk diakuisisi datanya, kemudian data tersebut dikirim ke PC menggunakan kabel serial RS232. Setiap senyawa organik memiliki pola yang unik. Sehingga dengan memanfaatkan pola tersebut telah dilakukan pengidentifikasian gas yang menggunakan algoritma *neural network*, di mana input yang digunakan meliputi: y puncak negatif, gradien negatif, gradien positif, dan x_{total} . Hasil percobaan menunjukkan bahwa sistem ini mampu mengidentifikasi jenis gas dengan tingkat keberhasilan 90%. Secara keseluruhan metode ini diharapkan menjadi metode yang baik untuk sistem identifikasi gas.

Kata kunci: Kromatografi, *Neural Network*, *Surface Acoustic Wave*.

I. PENDAHULUAN

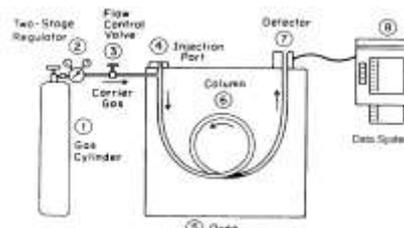
Kromatografi gas adalah alat penganalisis yang paling banyak digunakan di dunia[1]. Kolom kapiler yang efisien memiliki resolusi yang tinggi, sebagai contohnya, mampu memisahkan lebih dari 450 komponen dalam aroma kopi, atau komponen pada bahan alami seperti minyak peppermint. Keuntungan dari penggunaan kromatografi gas dalam pengujian gas adalah analisis yang cepat, efisien, dan akurat. Alat kromatografi gas umumnya menggunakan

spectroscopy untuk mengetahui identitas dari kurva yang tertera pada recorder. Oleh karena itu, dibuatlah alat kromatografi gas yang lebih sederhana menggunakan sensor *surface acoustic wave* sebagai detektor, dan *neural network* sebagai pengidentifikasi gas secara otomatis.

II. METODE PENELITIAN

A. Kromatografi Gas

Kromatografi gas merupakan salah satu teknik pemisahan senyawa berdasarkan perbedaan distribusi pergerakan yang terjadi di antara fase gerak dan fase diam untuk pemisahan senyawa yang berada pada larutan. Senyawa gas yang terlarut dalam fase gerak, akan melewati kolom partisi yang merupakan fase diam. Senyawa yang memiliki kesesuaian kepolaran dengan bahan yang berada di dalam fase diam yang diletakkan di dalam kolom partisi akan cenderung bergerak lebih lambat daripada senyawa yang memiliki perbedaan kepolaran dengan bahan yang ada di kolom partisi[1].



Gambar 1. Sistem Kromatografi Gas[1]

B. *Surface Acoustic Wave*(SAW)

SAW memiliki prinsip kerja yaitu setiap perubahan baik fisik maupun kimia yang terjadi pada permukaan pendeteksi yang ditempatkan pada suatu bahan piezoelektrik dapat mempengaruhi pergerakan gelombang akustik[2]. Pada saat gelombang akustik berjalan melalui suatu bahan, setiap perubahan karakteristik yang terjadi dari bahan akan mempengaruhi kecepatan dan/ atau amplituda dari gelombang tersebut. Perubahan dalam kecepatan dapat dimonitor dengan mengukur perubahan frekuensi yang dikaitkan dengan besaran fisika yang dimiliki dari objek yang diukur[3].



Gambar 2. Sensor *Surface Acoustic Wave*[2]

Sebuah sensor berbasis *surface acoustic wave* didasari atas persamaan efek piezoelektrik. Acuan teori yang menyatakan hubungan antara perubahan masa dengan perubahan frekuensi resonansi pada SAW didasari persamaan Sauerbrey, sebagai berikut [4]:

$$\Delta f = -C_f \cdot \Delta m \tag{1}$$

keterangan:

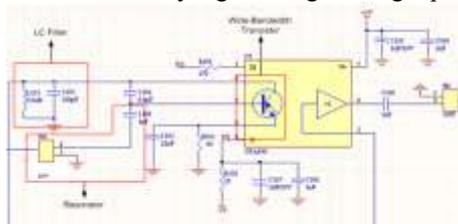
Δf = Perubahan Frekuensi (Hz)

Δm = Perubahan massa per unit area (g/cm^2)

C_f = Konstanta Kristal yang digunakan ($Hz \mu g^{-1} cm^2$).

C. Rangkaian Osilator SAW

Pada penelitian menggunakan rangkaian osilator miller dengan menggunakan komponen Operational Transconductance OPA660 yang mampu melewati frekuensi tinggi. Rangkaian osilator ini terdiri dari 3 bagian utama yaitu Resonator yang berfungsi sebagai penghasil frekuensi resonansi yakni SAW, LC Filter yang berfungsi sebagai rangkaian selektif, Wide-Bandwidth Transistor yang berfungsi sebagai penguat.

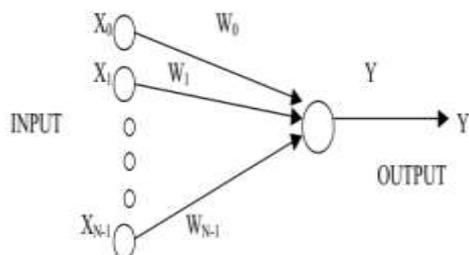


Gambar 3. Rangkaian osilator SAW

D. Neural Network(NN)

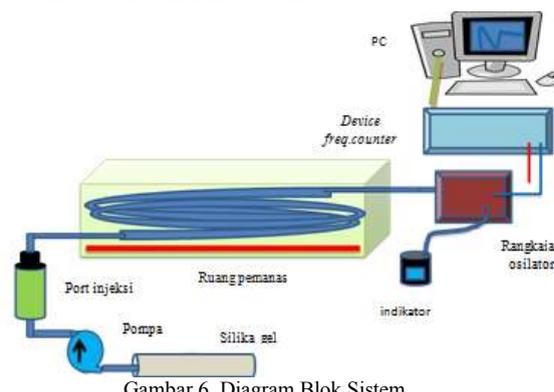
Model saraf tiruan sederhana memiliki banyak nama seperti model koneksionis, model pengolahan distribusi parallel, dan sistem neuromorphic[5]. Tiruan *neuron* dalam struktur *neural network* adalah elemen pemroses yang dapat berfungsi seperti halnya sebuah neuron[6]. Sejumlah sinyal masukan x dikalikan dengan masing-masing bobot yang bersesuaian W [7]. Kemudian dilakukan penjumlahan dari seluruh hasil perkalian tersebut dan keluaran yang dihasilkan dilakukan ke dalam fungsi pengaktif untuk mendapatkan tingkatan derajat sinyal keluaran $Fx(W)$ [8].

Menurut Haykin, *Artificial neural network* adalah sejumlah besar prosesor yang terdistribusi secara paralel dan terdiri dari unit pemrosesan sederhana, dimana masing-masing unit memiliki kecenderungan untuk menyimpan pengetahuan yang dialami dan dapat digunakan kembali[9].



Gambar 5. Model *perceptron*[10]

E. Gambaran Umum Sistem



Gambar 6. Diagram Blok Sistem

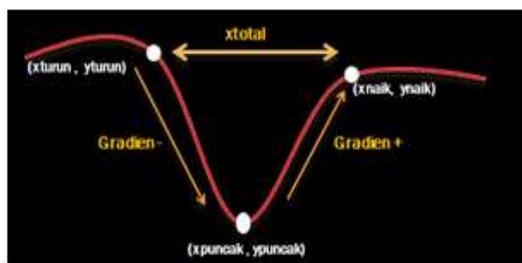
Pada sistem ini, sensor yang digunakan adalah sensor *surface acoustic wave* yang berguna untuk mendeteksi gas yang diuji, di mana setiap perubahan baik fisik maupun kimia yang terjadi pada permukaan SAW yang ditempatkan pada suatu bahan piezoelektrik dapat mempengaruhi pergerakan gelombang akustik. Pada saat gelombang akustik berjalan melalui suatu bahan, setiap perubahan karakteristik yang terjadi dari bahan akan mempengaruhi perubahan frekuensi. Frekuensi yang dihasilkan SAW dikirimkan ke sebuah modul yaitu *device frequency counter* untuk diakuisisi datanya. Data tersebut dikirim ke komputer melalui komunikasi serial RS232.

F. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak pada sistem ini terbagi menjadi dua, yaitu perangkat lunak yang terdapat pada *device frequency counter* dan perangkat lunak yang terdapat pada PC. Perangkat lunak yang terdapat pada *device frequency counter* meliputi program pembacaan nilai frekuensi yang dihasilkan oleh sensor SAW dan kontrol driver pompa, serta komunikasi serial ke PC. Sedangkan perangkat lunak yang terdapat pada PC digunakan sebagai *interface* dengan *device frequency counter*. Selain itu juga digunakan untuk melakukan proses *neural network*.

Pada penelitian ini, *device frequency counter* digunakan untuk membaca nilai dari frekuensi resonansi yang dihasilkan oleh sensor SAW, terdapat proses interrupt yang digunakan untuk menyalakan dan mematikan pompa pompa, selain itu terdapat kabel serial yang dikomunikasikan dengan PC untuk memudahkan monitoring dan pengontrolan keseluruhan sistem.

Perangkat lunak yang terdapat pada PC berfungsi untuk mengambil data dari *device frequency counter* dan juga sebagai *training* data yang menggunakan algoritma *neural network* untuk proses identifikasi gas uji. Untuk parameter yang digunakan sebagai masukan neural network terdiri dari 4 parameter yaitu:



Gambar 7. Input NN

1. Y puncak negatif
 Y puncak negatif menyatakan frekuensi minimum yang dihasilkan oleh suatu gas pada waktu tertentu (xpuncak) yang pada gambar di atas dinyatakan dengan ypuncak.

2. Gradien negatif
 Untuk mendapatkan gradien negatif adalah dengan cara menentukan dahulu xpuncak. Gradien negatif terjadi sebelum y puncak negatif, sehingga xturun terletak disebelah kiri y puncak negatif. Dari gambar di atas gradien negatif dapat dicari dengan rumus sebagai berikut.

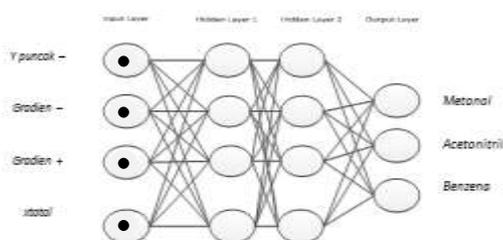
$$\text{gradien negatif} = \frac{(ypuncak - yturun)}{(xpuncak - xturun)} \quad (2)$$

3. Gradien positif
 Seperti mencari gradien negatif, untuk mendapatkan gradient positif adalah dengan cara menentukan dahulu xpuncak Gradien positif terjadi setelah y puncak negatif, sehingga xnaik terletak disebelah kanan y puncak negatif. Dari gambar di atas gradien positif dapat dicari dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{gradien positif} = \frac{(ynaik - ypuncak)}{(xnaik - xpuncak)} \quad (3)$$

4. Xtotal
 Untuk mendapatkan parameter xtotal adalah dengan cara mengurangkan nilai koordinat x dari waktu naik dan waktu turun.

Pada penelitian ini digunakan 1 input layer dengan 4 node masukan parameter, 2 hidden layer dengan neuron pada hidden layer pertama adalah 100 neuron, sedangkan neuron pada hidden layer ke dua adalah 50 neuron. Layer terakhir adalah output layer dengan neuron tiga buah yang terdiri dari metanol (1,0,0), acetonitril (0,1,0), dan benzena (0,0,1).



Gambar 8. Input dan Output NN

III. HASIL PENGUJIAN & ANALISIS

Frekuensi yang dihasilkan oleh SAW dapat dimonitoring melalui grafik yang menampilkan

perubahan frekuensi terhadap waktu. Di mana perubahan frekuensi adalah:

$$\Delta f(t) = \text{data}(t) - \text{ref} \quad (4)$$

$$\text{ref} = (f[1] + f[2] + f[3] + f[4] + f[5] + f[6] + f[7] + f[8] + f[9] + f[10]) / 10 \quad (5)$$

keterangan:
 Δf = Perubahan frekuensi (Hz)
 data = Frekuensi yang dihasilkan SAW (Hz)
 f [1] s.d f [10] = Frekuensi yang dihasilkan oleh SAW pada detik pertama sampai detik kesepuluh (Hz).

A. Pengaruh Tekanan Pompa Terhadap SAW

Pada pengujian ini dilakukan analisis tentang pengaruh dari perubahan tekanan pompa terhadap hasil parameter yang didapatkan dari respon yang diberikan oleh sensor SAW, di mana naiknya tekanan pompa sebanding dengan naiknya tegangan yang digunakan oleh pompa. Pada penelitian ini volume gas dan suhu yang digunakan dalam ruang pemanas dibuat tetap yakni 20 ml dan 80⁰ C. Berikut ini adalah tabel dan analisis dari pengujian gas acetonitril, metanol, dan benzena pada volume sebesar 20 ml dan suhu sebesar 80⁰C dengan perubahan tekanan pompa yang ditandai adanya perubahan tegangan yang digunakan oleh pompa.

Tabel 1. Parameter dari Pengujian tekanan pompa pada tegangan 5v

Parameter	Tegangan Pompa 5 V		
	Metanol	Acetonitril	Benzena
Waktu retensi	297	300	309
Y puncak negatif	-2997	-1690	-626
Gradien -	-124	-12	-10
Gradien +	34	11	6
xtotal	25	43	86

Tabel 2. Parameter dari Pengujian tekanan pompa pada tegangan 7.2 V

Parameter	Tegangan Pompa 7.2 V		
	Metanol	Acetonitril	Benzena
Waktu retensi	250	276	294
Y puncak negatif	-2633	-1388	-508
Gradien -	-107	-12	-14
Gradien +	43	2	12
xtotal	25	50	55

Tabel 3. Parameter dari Pengujian tekanan pompa pada tegangan 8 V

Parameter	Tegangan Pompa 8 V		
	Metanol	Acetonitril	Benzena
Waktu retensi	238	245	247
Y puncak negatif	-3000	-1597	-481
Gradien -	-120	-30	-11
Gradien +	37	17	10
xtotal	25	27	38

Dari ketiga percobaan di atas secara umum terdapat keteraturan waktu retensi antara gas-gas tersebut pada pengujian gas ketika menggunakan tekanan pompa pada tegangan 5volt, 7.2 volt, dan 8 volt, yakni benzena selalu memiliki waktu retensi yang lebih lama, selanjutnya acetone, dan yang terakhir metanol.

Tekanan pompa sangatlah berpengaruh terhadap penelitian ini, karena jika mengubah tekanan pompa maka akan dihasilkan parameter yang berbeda pula. Maka dari itu perlu digunakan tekanan pompa yang stabil agar menghasilkan parameter yang akurat.

B. Pengaruh Volume Gas Terhadap Sensor SAW

Pada pengujian dilakukan analisis tentang pengaruh dari perubahan volume gas uji dalam satuajin mili liter terhadap hasil parameter yang didapatkan dari respon yang diberikan oleh sensor SAW, di mana volume gas uji ini diukur melalui wadah suntikan yang digunakan dalam penelitian. Berikut ini adalah tabel dan analisis dari pengujian gas acetone, metanol, dan benzene dengan perubahan volume pada suhu ruang pemanas sebesar 80⁰ C dan tegangan yang dipakai pompa sebesar 8 volt.

Tabel 4. Parameter dari pengujian gas pada volume 5 ml

Parameter	Volume gas (5 ml)		
	Metanol	Acetonitril	Benzena
Waktu retensi	240	247	252
Y puncak negatif	-1652	-866	-299
Gradien -	-35	-19	-120
Gradien +	37	8	6
xtotal	26	31	30

Tabel 5. Parameter dari pengujian gas pada volume 10 ml

Parameter	Volume gas (10 ml)		
	Metanol	Acetonitril	Benzena
Waktu retensi	242	248	252
Y puncak negatif	-2893	-1050	-321
Gradien -	-24	-15	-112
Gradien +	40	16	7
xtotal	28	29	30

Tabel 6. Parameter dari pengujian gas pada volume 20 ml

Parameter	Volume gas (20 ml)		
	Metanol	Acetonitril	Benzena
Waktu retensi	245	250	253
Y puncak negatif	-3000	-1675	-338
Gradien -	-22	-23	-116
Gradien +	49	13	6
xtotal	31	28	30

Dari ketiga percobaan di atas secara umum terdapat keteraturan waktu retensi antara gas-gas tersebut pada pengujian ketika volume gas uji sebesar 5ml, 10 ml, dan 20ml. Yakni benzena selalu memiliki waktu retensi yang lebih lama, selanjutnya acetone, dan yang terakhir metanol.

Volume gas uji yang digunakan sangatlah penting dalam penelitian ini, karena jika menggunakan volume yang berbeda-beda maka akan dihasilkan y puncak negatif yang memiliki perbedaan secara signifikan pula. Maka dari itu volume gas uji harus ditentukan besarnya agar dihasilkan parameter akurat.

C. Pengaruh Suhu Terhadap Sensor SAW

Pada pengujian dilakukan analisis tentang pengaruh dari perubahan suhu pada ruang pemanas dalam satuan celcius terhadap hasil parameter yang didapatkan dari respon yang diberikan oleh sensor *Surface Acoustic Wave*, di mana suhu dari runag pemanas tersebut ditampilkan pada LCD.

Berikut ini adalah tabel dan analisis dari pengujian gas acetone, metanol, dan benzene dengan perubahan suhu pada ruang pemanas dan tegangan yang dipakai pompa sebesar 7.6 volt serta volume gas sebesar 20 mili liter.

Tabel 7. Parameter dari pengujian gas pada suhu 70⁰C

Parameter	Suhu 70 ⁰ C		
	Metanol	Acetonitril	Benzena
Waktu retensi	238	244	249
Y puncak negatif	-2893	-1695	-299
Gradien -	-77	-20	-86
Gradien +	55	17	6
xtotal	25	27	36

Tabel 8. Parameter dari pengujian gas pada suhu 75⁰C

Parameter	Suhu 75 ⁰ C		
	Metanol	Acetonitril	Benzena
Waktu retensi	231	247	252
Y puncak negatif	-2997	-1503	-371
Gradien -	-74	-29	-65
Gradien +	34	15	7
xtotal	25	26	36

Tabel 9. Parameter dari pengujian gas pada suhu 80⁰C

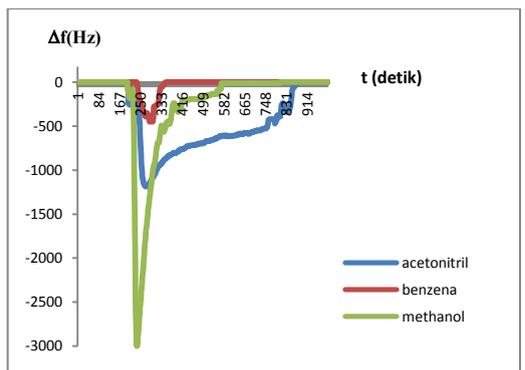
Parameter	Suhu 80 ⁰ C		
	Metanol	Acetonitril	Benzena
Waktu retensi	236	243	249
Y puncak negatif	-2009	-1562	-338
Gradien -	-70	-21	-83
Gradien +	29	16	6
xtotal	25	27	36

Dari ketiga percobaan di atas secara umum terdapat keteraturan waktu retensi antara gas-gas tersebut pada pengujian ketika suhu ruang pemanas sebesar 70⁰C, 75⁰C, dan 80⁰C. Benzena selalu memiliki waktu retensi yang lebih lama, selanjutnya acetone, dan yang terakhir metanol.

Pengaturan suhu pada ruang pemanas ini juga penting dalam penelitian ini, karena jika mengubah temperatur ruang pemanas maka akan dihasilkan perbedaan parameter.

D. Perbandingan Laju Ketiga Gas Uji

Pengujian ini menganalisis mengenai perbandingan dari laju pengujian tiga gas uji, yaitu metanol, acetonitril, dan benzena. Gambar 8 menunjukkan perubahan frekuensi SAW terhadap masing-masing gas uji. Waktu yang diperlukan oleh gas untuk melewati kolom partisi dipengaruhi oleh jenis gas dan jenis bahan yang mengisi kolom partisi. Jika polaritasnya sama maka gas akan lambat keluar dari kolom partisi, tapi jika berbeda polaritas maka gas akan cepat keluar dari kolom partisi.



Gambar 8. Perbandingan waktu retensi

Benzena lebih cepat stabil dibandingkan dengan alkohol dan acetonitril, hal ini disebabkan karena benzena adalah jenis pelarut nonpolar sehingga lebih mudah dibawa oleh gas dorong menuju indikator, sehingga perubahan frekuensi yang dihasilkan lebih cepat kembali ke keadaan semula. Sedangkan untuk acetonitril dan metanol akan menempel terlebih dahulu pada dinding kolom partisi karena masing-masing merupakan bahan polar aprotik dan polar protik. Pada penelitian ini digunakan metanol 90%, di mana kadar 90% pada metanol memiliki *elution strength* yang lebih besar daripada acetonitril. Ini sebabnya grafik perubahan frekuensi yang dihasilkan metanol lebih cepat stabil dibandingkan acetonitril.

Dari pengujian ini benzena memiliki waktu retensi yang lebih lama, selanjutnya acetonitril, dan yang terakhir metanol. Berikut ini adalah tabel data parameter yang didapatkan dari 3 kali pengujian pada suhu 75°C, volume gas uji 20 ml, dan tekanan pompa yang menggunakan tegangan pompa sebesar 7.6 volt pada pengujian ketiga gas uji.

Tabel 10. Parameter yang digunakan *input neural network*

Jenis Gas Uji	Y Puncak negatif (Hz)	Gradien Negatif (Hz/detik)	Gradien Positif (Hz/detik)	X Total (detik)
Metanol	-2009	-70	29	25
	-2069	-79	38	25
	-2893	-77	32	25
Acetonitril	-1695	-20	17	27
	-1562	-21	16	27
	-1303	-29	15	26
Benzena	-338	-11	6	64
	-510	-18	8	64
	-299	-10	6	64

E. Pengidentifikasian gas menggunakan NN

Nilai *error* pada pelatihan NN digunakan untuk mendapatkan *weight* dan *threshold*, ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. Nilai error

Nilai *error* didapatkan setelah dilakukan pelatihan sampai iterasi ke 1963. Berikut ini hasil identifikasi yang dilakukan terhadap dua puluh sampel secara acak.

Tabel 11. Hasil Pengujian Gas Uji Menggunakan Neural Network

Pengujian Ke-	Gas Uji	Hasil Identifikasi
1	Metanol	Metanol
2	Acetonitril	Acetonitril
3	Acetonitril	Acetonitril
4	Benzena	Benzena
5	Metanol	Metanol
6	Benzena	Benzena
7	Metanol	Acetonitril
8	Benzena	Benzena
9	Acetonitril	Acetonitril
10	Metanol	Metanol
11	Benzena	Benzena
12	Acetonitril	Acetonitril
13	Metanol	Metanol
14	Metanol	Metanol
15	Benzena	Benzena
16	Acetonitril	Acetonitril
17	Benzena	Benzena
18	Metanol	Acetonitril
19	Benzena	Benzena
20	Acetonitril	Acetonitril

Dari hasil dua puluh pengujian dengan menggunakan *neural network* secara acak, keseluruhan sistem yang dirancang mempunyai tingkat keberhasilan sebesar 90 %. *Error* yang dihasilkan dapat disebabkan oleh tekanan pompa yang tidak stabil serta senyawa dari udara di sekitar yang digunakan sebagai gas dorong dalam pengujian ini.

IV. KESIMPULAN

Pada sistem ini tekanan pompa pendorong, suhu kolom partisi, dan volume gas uji merupakan faktor yang berperan penting, sehingga harus ditetapkan terlebih dahulu ketiga faktor di atas agar didapatkan hasil yang akurat.

Benzena memiliki waktu retensi yang lebih lama yaitu pada detik ke-294, selanjutnya acetonitril, dan yang terakhir adalah metanol.

Hasil pengidentifikasian gas dengan menggunakan algoritma *neural network* telah mencapai tingkat keberhasilan sebesar 90%.

Keunggulan sistem ini dibandingkan dengan sistem yang dibuat sebelumnya adalah menggunakan sensor SAW, di mana sensor ini sangat sensitif sehingga senyawa dari gas uji lebih cepat terdeteksi dan menghasilkan perbedaan waktu retensi yang paling tinggi dalam pengujian antara senyawa polar (metanol) dan nonpolar (benzena) sebesar 44 detik.

Kelemahan dalam sistem ini adalah menggunakan udara sekitar sebagai gas dorong sehingga jika terdapat suatu senyawa tertentu dimana sensor SAW sangat peka terhadap jenis senyawa ini maka pembacaan frekuensi tidak terlalu akurat dan membutuhkan waktu yang lama untuk pembersihan kolom partisi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G.A.Eiceman, Instrumentation of Gas Chromatography”, *Encyclopedia of Analytical Chemistry*, pp. 10671–10679,2000.
- [2] Side, F., Ramli, N.A., Nordin, A.N., Voiculescu, I., “Design and fabrication of Surface Acoustic Wave resonators on Lithium Niobate”. *Research and Development (SCORed)*, IEEE, 2010.
- [3] A derson Hendrik, et al, (2006),“Quartz crystal microbalance sensor design 1. *Experimental study on sensor response and performance*”, *Sensors and Actuators Elsevier B*. Vol 123. issue 1.p.21-26.
- [4] Rivai, M., Juwono, H., dan Mujiono T., 2008.”prototype system penciuman elektronik menggunakan deret Kristal SiO2 terlapis
- [5] Hermawan, A., "Jaringan Syaraf Tiruan Teori dan Aplikasi", Andi Offset, Yogyakarta, 2006.
- [6] Puspaningrum, D., "Pengantar Jaringan Syaraf Tiruan", Andi Offset, Yogyakarta, 2006.
- [7] Lippmann, R. P. An introduction to computing with neural nets. *IEEE ASS Magazine*, 4-22,1987.
- [8] M.H.Purnomo, A.Kurniawan, “Supervised Neural Network dan aplikasinya”,*Graha Ilmu*, 2006.
- [9] Gurney, K., “*Neural Nets by Kevin Gurney*”<URL: <http://www.shef.ac.uk/psychology/gurney/notes/index.html>>, 1999.
- [10] Haykin, S., “*Neural networks: a comprehensive foundation*”, *Prentice Hall, New Jersey, 1999*.