
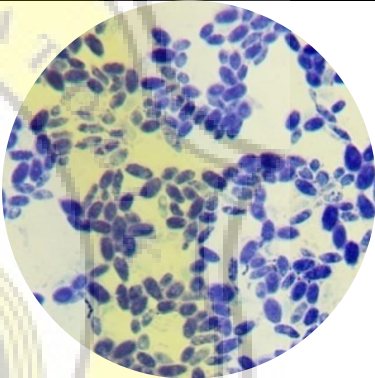
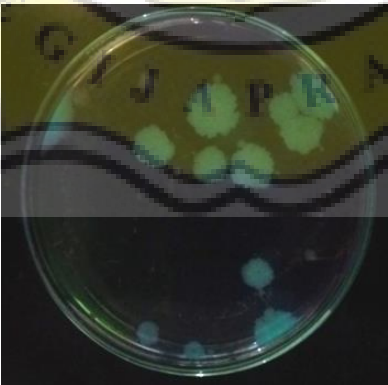
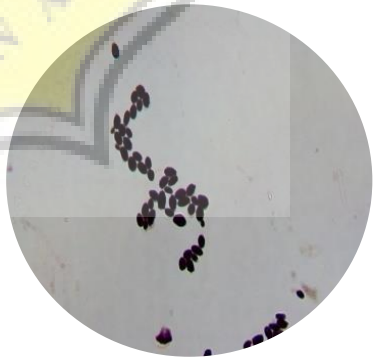


3. HASIL PENELITIAN

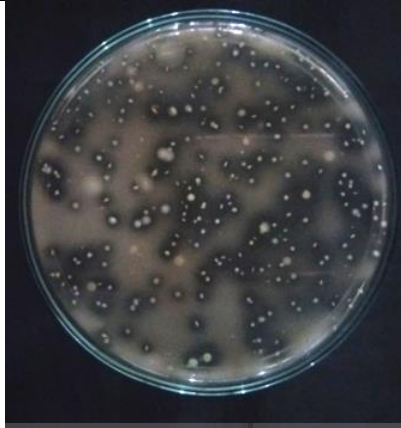
3.1. Uji Mikrobiologi

Pada penelitian ini dilakukan pengujian secara mrkrobiologi untuk mengetahui jenis mikroba yang bekerja selama fermentasi secara morfologi dibawah mikroskop. Hasil pengujian Mikrobiologi berdasarkan pewarnaan mikroba dapat dilihat pada Tabel 2.

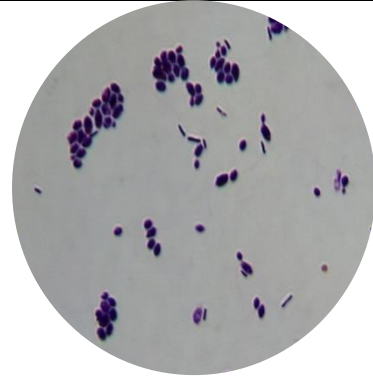
Tabel 2. Hasil Pengujian Mikrobiologi

No	Jenis Pewarnaan	Bentuk Koloni	Bentuk Secara Mikroskopis
1	Pewarnaan sederhana	 Kultur komersial kombucha pada media MRS A	 Pengamatan mikroskop dibawah dengan perbesaran 10 x 100
2	Pewarnaan gram	 Kultur komersial kombucha pada media Selektif Bakteri Asam Asetat	 Pengamatan mikroskop dibawah dengan perbesaran 10 x 100

Lanjutan Tabel
2.



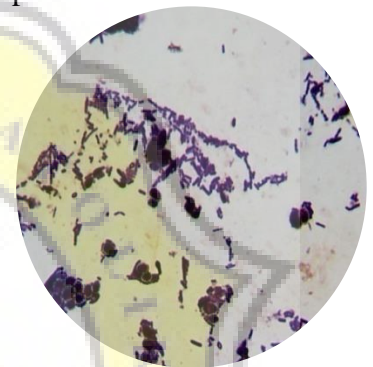
Kultur komersial kombucha
pada media MRS A



Pengamatan
mikroskop
perbesaran 10 x 100
dibawah
dengan



Kultur murni *Lactobacillus
pentosus* A22 pada media MRS
A



Pengamatan
mikroskop
perbesaran 10 x 100.
dibawah
dengan

Pada Tabel 2 dapat dilihat hasil pengujian mikrobiologi, dari pewarnaan sederhana dapat dilihat morfologi *yeast* yang terdapat pada kultur komersial kombucha, yaitu terdapat 1 jenis *yeast* berbentuk *coccus*. Pada hasil pewarnaan gram ditemukan 2 jenis bakteri yaitu gram negatif berupa bakteri asam asetat dan bakteri gram positif yaitu bakteri asam laktat.

3.2. Kepadatan Sel

Hasil pengujian kepadatan sel dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kepadatan Sel

Hari	Kepadatan Sel (Nilai OD)		
	PS(A 660)	PG (A 660)	PF (A 660)
0	0,047±0,025	0,027±0,003	0,035±0,007
2	0,105±0,02	0,078±0,022	0,111±0,093
4	0,121±0,026	0,124±0,019	0,146±0,085
6	0,133±0,036	0,096±0,008	0,185±0,099
8	0,102±0,009	0,107±0,003	0,104±0,019
10	0,126±0,001	0,105±0,010	0,127±0,047
12	0,128±0,056	0,094±0,037	0,179±0,140
14	0,117±0,030	0,101±0,002	0,150±0,070

Keterangan:

PS : perlakuan penambahan sukrosa

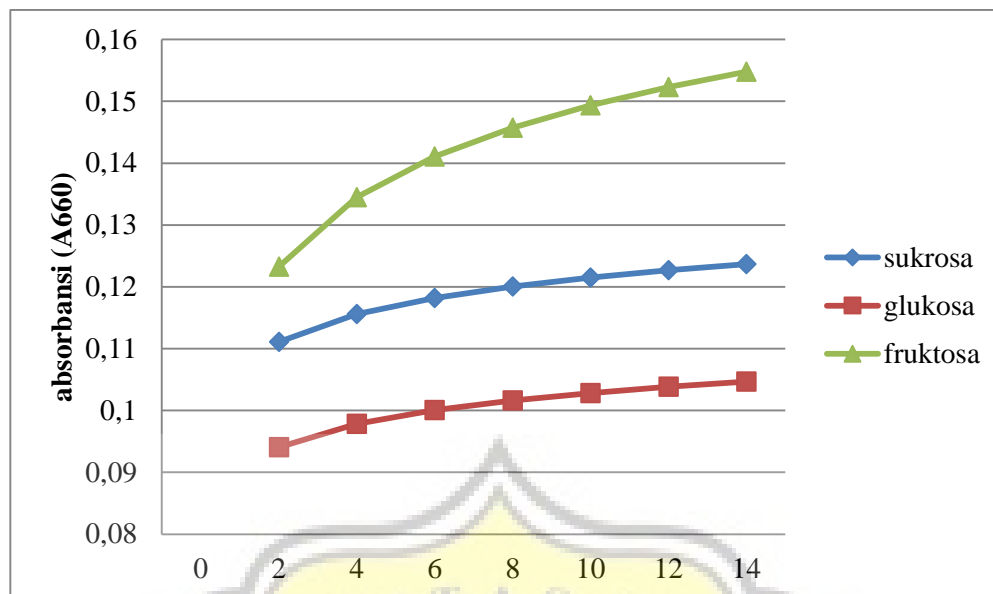
PG: perlakuan penambahan glukosa

PF : perlakuan penambahan fruktosa

OD: *optical density*

Hasil pengujian kepadatan sel selama fermentasi pada Tabel 4 dapat dilihat nilai OD yang terkecil terdapat pada perlakuan glukosa hari kenol, dan nilai tertinggi terdapat pada perlakuan fruktosa pada hari keenam. Pada akhir fermentasi perlakuan sukrosa dan glukosa cenderung memiliki nilai OD yang hampir sama sedangkan fruktosa memiliki nilai OD yang lebih besar.

Pada penelitian ini hasil pengujian kepadatan sel diolah dengan menggunakan fungsi matematika, dan diketahui bahwa kepadatan sel mengikuti fungsi logaritma. Maka dilakukan pemaparan dengan grafik untuk memudahkan melihat perubahan kepadatan sel selama 14 hari fermentasi. Grafik logaritma kepadatan sel selama 14 hari fermentasi dapat dilihat pada Gambar 2.



Keterangan rumus:

Sukrosa: $f(x) = -0,021 \ln x + 1,308$; $R^2 = 0,641$

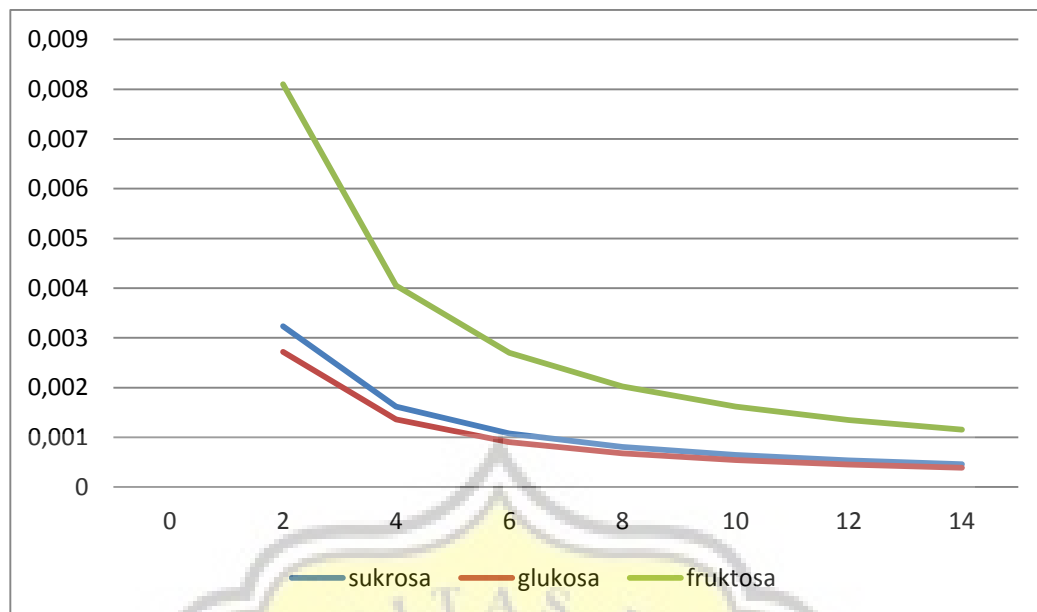
Glukosa: $f(x) = -0,042 \ln x + 1,348$; $R^2 = 0,620$

Fruktosa: $f(x) = -0,078 \ln x + 0,963$; $R^2 = 0,693$

Gambar 2. Perubahan Nilai OD selama 14 hari fermentasi

Pada grafik logaritma dari nilai OD dapat dilihat secara keseluruhan nilai OD meningkat selama 14 hari fermentasi. Nilai OD setara dengan jumlah sel pada larutan maka selama 14 fermentasi jumlah sel mikroorganisme terus meningkat. Perlakuan fruktosa memiliki nilai OD yang lebih tinggi dari kedua perlakuan lainnya sehingga perlakuan fruktosa memiliki jumlah sel yang lebih tinggi dari kedua perlakuan yang lain.

Pada grafil logaritma belum dapat dilihat laju perubahan kepadatan sel maupun nilai ODnya maka dilakukan penurunan fungsi logaritma dari nilai OD. Grafik turunan logaritma perubahan kepadatan sel dapat dilihat pada Gambar 3.

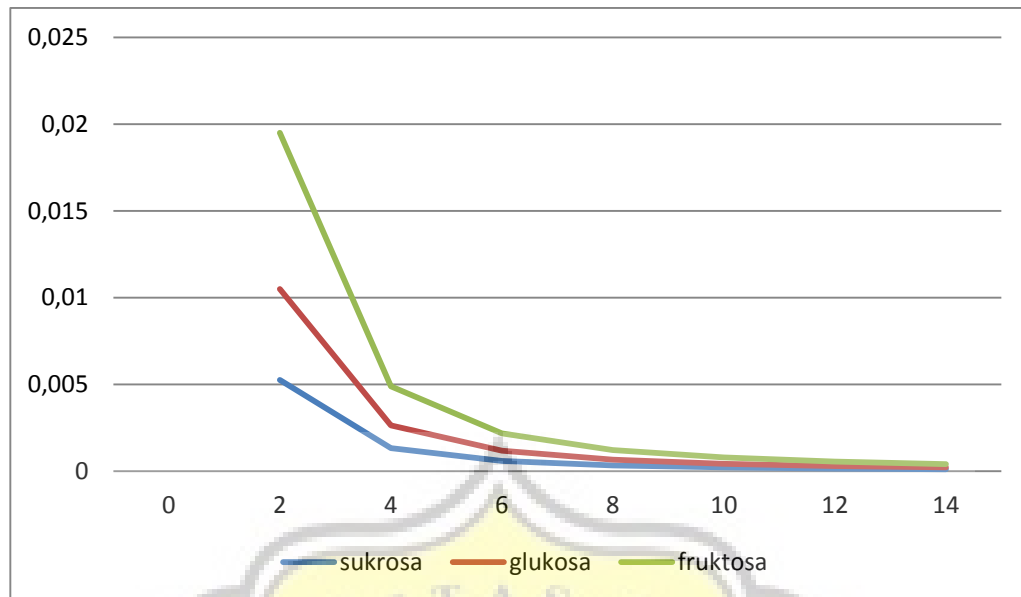


Keterangan rumus:
 Sukrosa: $f'(x) = -0,021/x$
 Glukosa: $f'(x) = -0,042/x$
 Fruktosa: $f'(x) = -0,078/x$

Gambar 3. Turunan Logaritma Nilai OD

Pada Gambar 3 dapat dilihat grafik turunan fungsi logaritma dari nilai OD yang menunjukkan laju perubahan nilai OD. Pada ketiga perlakuan menunjukkan pola kurva yang sama yaitu terjadi penurunan laju perubahan secara tajam hingga hari ke 6 kemudian laju perubahan nilai OD melambat hingga akhir fermentasi.

Pendekatan dilanjutkan dengan penurunan kedua fungsi logaritma, sehingga diketahui percepatan perubahan kepadatan sel. Percepatan perubahan kepadatan sel pada ketiga perlakuan dapat dilihat pada gambar 4.



Keterangan rumus:

Sukrosa: $f''(x) = -0,021/x^2$

Glukosa: $f''(x) = -0,042/x^2$

Fruktosa: $f''(x) = -0,078/x^2$

Gambar 4. Percepatan perubahan kepadatan sel

Pada gambar dapat dilihat percepatan perubahan kepadatan sel pada ketiga perlakuan. Pada ketiga perlakuan terlihat memiliki pola percepatan yang sama. Percepatan menurun hingga hari ke 10 kemudian stabil hingga hari ke 14. Pada ketiga perlakuan tidak menunjukkan titik kritis, ketiga grafik tidak menyentuh sumbu x.

3.3. Total Bakteri Asam Laktat

Hasil pengujian total bakteri asam laktat berupa dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian BAL.

Hari	Total Bakteri Asam Laktat		
	PS (CFU/ml)	PG (CFU/ml)	PF (CFU/ml)
0	11,266±0,07	11,257±0,09	11,290±0,10
2	11,243±0,08	11,263±0,09	11,451±0,21
4	11,222±0,17	11,222±0,17	11,136±2,76
6	13,637±0,56	14,746±0,55	13,875±0,31
8	14,717±0,28	15,085±0,19	14,336±0,34
10	15,085±0,38	15,231±0,35	14,830±0,43
12	14,570±0,09	14,415±0,11	13,125±0,60
14	15,250±0,04	15,342±0,08	15,197±0,10

Keterangan:

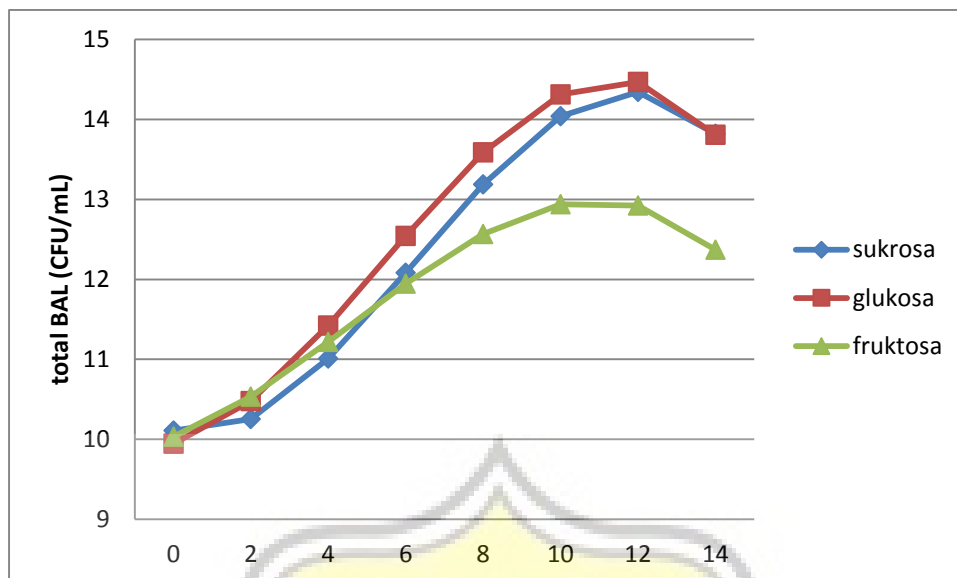
PS : perlakuan penambahan sukrosa

PG: perlakuan penambahan glukosa

PF : perlakuan penambahan fruktosa

Pada Tabel 4 dapat dilihat hasil pengujian total bakteri asam laktat pada kombucha selama 14 hari fermentasi. Pada Tabel diketahui bahwa nilai TPC yang tertinggi terletak pada perlakuan glukosa pada akhir fermentasi. Nilai TPC yang terendah terdapat pada perlakuan fruktosa pada hari ke 4 fermentasi.

Pada hasil pertumbuhan bakteri asam laktat dilakukan pendekatan secara matematis dan diketahui pertumbuhan bakteri asam laktat pada fermentasi kombucha mengikuti grafik fungsi polinomial pangkat 3. Pertumbuhan bakteri asam laktat selama 14 hari fermentasi pada ketiga perlakuan dapat dilihat pada gambar 5.



Keterangan rumus:

Sukrosa: $f(x) = -0,006x^3 + 0,112x^2 - 0,127x + 10,109$; $R^2 = 0,913$

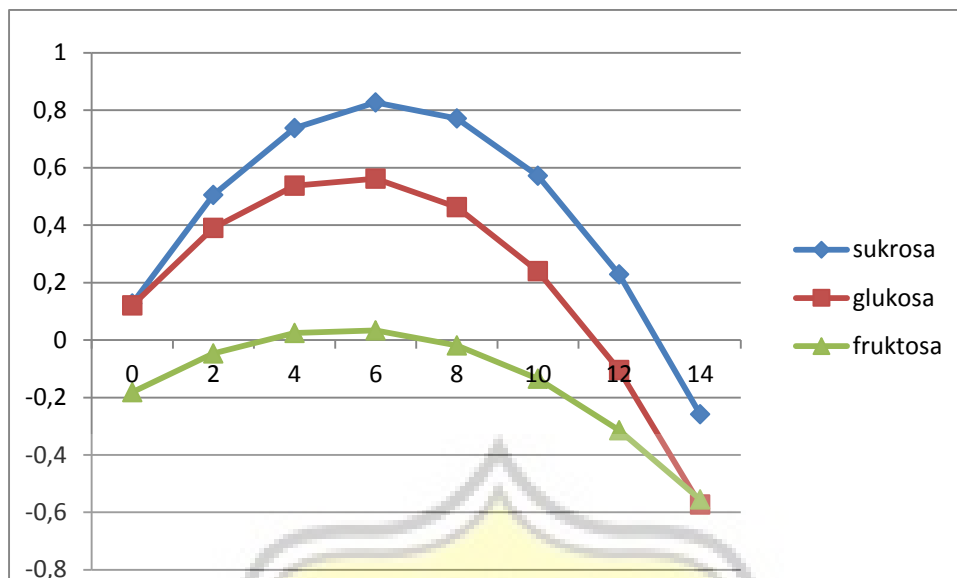
Glukosa: $f(x) = -0,005x^3 + 0,083x^2 + 0,120x + 9,944$; $R^2 = 0,823$

Fruktosa: $f(x) = -0,003x^3 + 0,041x^2 + 0,181x + 10,031$; $R^2 = 0,725$

Gambar 5. Total Bakteri Asam Laktat Selama 14 Hari Fermentasi

Pada grafik dapat dilihat pola pertumbuhan bakteri asam laktat selama 14 hari fermentasi. Ketiga perlakuan menunjukkan pola pertumbuhan bakteri asam laktat yang serupa. Perlakuan sukrosa dan glukosa mengalami peningkatan pertumbuhan bakteri asam laktat hingga hari ke 12 kemudian mengalami penurunan pada hari ke 14. Pada perlakuan fruktosa terjadi peningkatan bakteri asam laktat hingga hari ke 10 kemudian mengalami penurunan hingga hari ke 14.

Pendekatan dilanjutkan dengan menurunkan fungsi polinomial pangkat 3 menjadi pangkat 2 sehingga diketahui laju pertumbuhan bakteri asam laktat. Grafik polinomial pangkat 2 dari pertumbuhan bakteri asam laktat dari ketiga perlakuan dapat dilihat pada gambar 6.



Keterangan rumus:

Sukrosa: $f'(x) = -0,018x^2 + 0,225x + 0,127$

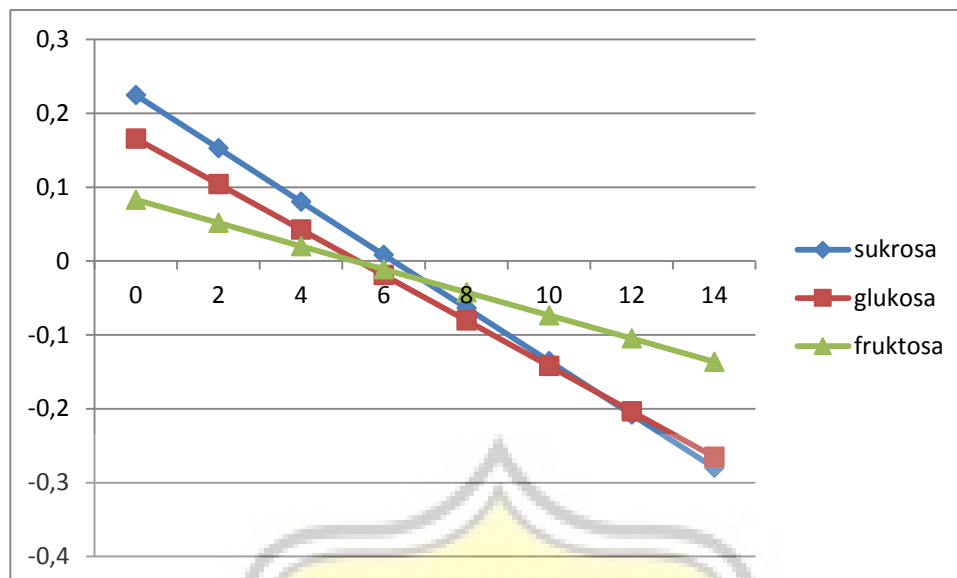
Glukosa: $f'(x) = -0,015x^2 + 0,166x - 0,120$

Fruktosa: $f'(x) = -0,008x^2 + 0,083x - 0,181$

Gambar 6. Laju pertumbuhan bakteri asam laktat

Pada gambar diatas dapat lihat laju pertumbuhan bakteri asam laktat pada ketiga perlakuan penambahan gula. Ketiga perlakuan menunjukkan pola laju pertumbuhan bakteri asam laktat yang sama. Pada perlakuan sukrosa glukosa dan fruktosa laju pertumbuhan meningkat hingga hari ke 6 kemudian menurun hingga hari ke 14.

Pendekatan dilanjutkan dengan penurunan fungsi polinomial pangkat 2 menjadi fungsi linier. Pada grafik linier didapatkan percepatan pertumbuhan bakteri asam laktat pada ketiga perlakuan. Grafik percepatan pertumbuhan bakteri asam laktat dapat dilihat pada Gambar 7.



Keterangan rumus:

Sukrosa: $f''(x) = -0,036x + 0,225$

Glukosa: $f''(x) = -0,031x + 0,166$

Fruktosa: $f''(x) = -0,016x + 0,083$

Gambar 7. Percepatan Pertumbuhan Bakteri Asam Laktat.

Pada gambar percepatan pertumbuhan bakteri dapat dilihat percepatan masing-masing perlakuan. Pada ketiga perlakuan menunjukkan pola percepatan yang sama. Perlakuan sukrosa dan fruktosa menyentuh sumbu x terlebih dahulu pada hari ke 6. Pada perlakuan glukosa menyentuh sumbu x diantara hari ke 6 dan hari ke 8.

3.4. Analisa Grafik Model Matematika Total BAL

Titik kritis tercapai pada persamaan:

Sukrosa:

$$Y = -0,036x + 0,225$$

$X = 6,235$, titik kritis tercapai pada hari ke 6

Kemudian persamaan diintegrasikan untuk memperoleh akumulasi total bakteri asam laktat sampai tercapai titik kritis.

$$\int_0^{6,235} -0,006x^3 + 0,112x^2 - 0,127x + 10,109$$

$$= \int_0^{6,235} -\frac{1}{4}0,006x^4 + \frac{1}{3}0,112x^3 - \frac{1}{2}0,127x^2 + 10,109x$$

Luas I=

$$x=6,235$$

$$y=67,34$$

Luas II = x=0; y= 0

Total luas = Luas I-Luas II

$$=67,34-0$$

$$=67,34$$

Akumulasi total bakteri asam laktat hingga tercapai titik kritis yaitu pada hari ke 6 yaitu sebesar 67,34 CFU/ml.

Glukosa:

$$Y= -0,031x+0,166$$

X= 5,390, titik kritis tercapai pada hari ke 5

Kemudian persamaan diintegrasikan untuk memperoleh akumulasi total bakteri asam laktat sampai tercapai titik kritis.

$$\int_0^{5,390} -0,005x^3 + 0,083x^2 + 0,120x + 9,944$$

$$= \int_0^{5,390} -\frac{1}{4}0,005x^4 + \frac{1}{3}0,083x^3 + \frac{1}{2}0,120x^2 + 9,944x$$

Luas I=

$$x=5,390$$

$$y=58,593$$

Luas II = x=0; y= 0

Total luas = Luas I-Luas II

$$=58,593-0$$

$$=58,593$$

Akumulasi total bakteri asam laktat hingga tercapai titik kritis yaitu pada hari ke 5 yaitu sebesar 58,593 CFU/ml.

Fruktosa:

$$Y= -0,016x+0,083$$

X= 5,294, titik kritis tercapai pada hari ke 5

Kemudian persamaan diintegrasikan untuk memperoleh akumulasi total bakteri asam laktat sampai tercapai titik kritis.

$$\int_0^{5,294} -0,005x^3 + 0,083x^2 + 0,120x + 9,944$$

$$= \int_0^{5,294} -\frac{1}{4}0,005x^4 + \frac{1}{3}0,083x^3 + \frac{1}{2}0,120x^2 + 9,944x$$

Luas I=

$$x=5,294$$

$$y=57,083$$

$$\text{Luas II} = x=0; y=0$$

$$\text{Total luas} = \text{Luas I} - \text{Luas II}$$

$$= 57,083 - 0$$

$$= 57,083$$

Akumulasi total bakteri asam laktat hingga tercapai titik kritis yaitu pada hari ke 6 yaitu sebesar 57,083 CFU/ml.

Perbandingan waktu mencapai titik kritis dan akumulasi total bakteri asam laktat ketika mencapai titik kritis pada ketiga perlakuan dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Perbedaan titik kritis pertumbuhan BAL

Titik kritis	PS	PG	PF
X (hari)	6,235	5,390	5,294
Y(CFU/mL)	67,340	58,593	57,083

Keterangan:

PS : perlakuan penambahan sukrosa

PG: perlakuan penambahan glukosa

PF : perlakuan penambahan fruktosa

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa perlakuan fruktosa memiliki waktu yang paling singkat untuk mencapai titik kritis. Perlakuan sukrosa memiliki luas area atau total bakteri asam laktat paling besar hingga mencapai titik kritis meskipun dengan waktu paling panjang untuk mencapai titik kritis. Perlakuan fruktosa memiliki akumulasi total bakteri asam laktat paling rendah meskipun mencapai titik kritis tercepat.

3.5. Pengujian pH

Pada penelitian ini dilakukan pengujian pH untuk mengetahui perubahan pH selama fermentasi hingga fermentasi berakhir. Hasil pengujian pH dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian pH

Hari	pH		
	PS	PG	PF
0	3,93±0,01	3,7±0,008	3,82±0,035
2	3,73±0,010	3,64±0,050	3,63±0,024
4	3,5±0,003	3,5±0,053	3,24±0,040
6	3,27±0	3,28±0,006	3,01±0,042
8	3,22±0,005	3,23±0,003	3,13±0,274
10	3,1±0,013	3,07±0,290	2,93±0,022
12	3,03±0,003	3,20±0,003	2,78±0,007
14	2,99±0	3,27±0,005	2,8±0,005

Keterangan:

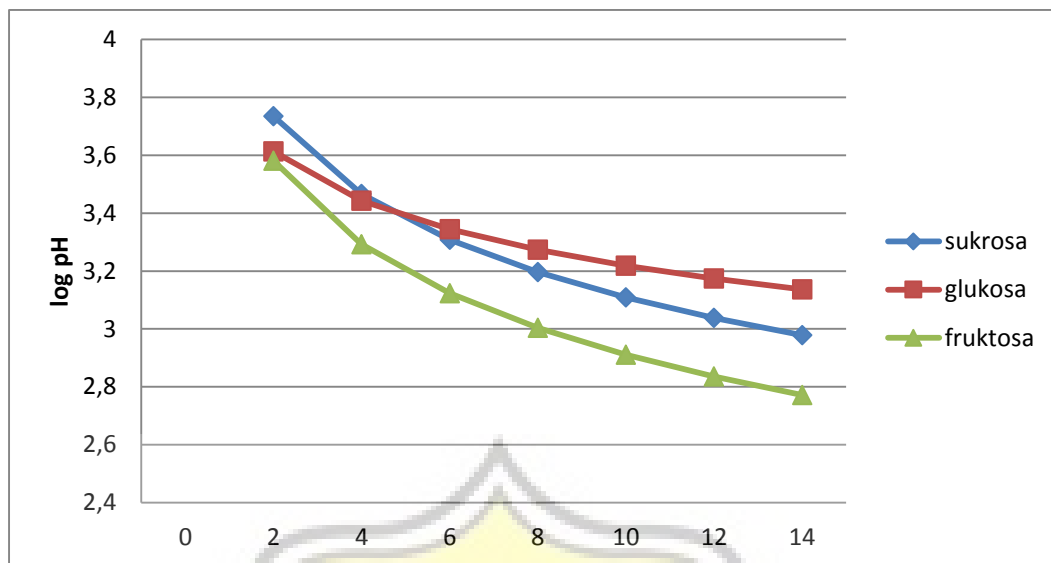
PS : perlakuan penambahan sukrosa

PG: perlakuan penambahan glukosa

PF : perlakuan penambahan fruktosa

Pada Tabel 6 dapat dilihat hasil pengujian pH pada kombucha selama proses fermentasi, pH awal kombucha berkisar 3,7-3,93. Produk akhir menghasilkan pH berkisar 2,8-3. Nilai pH terendah terdapat pada perlakuan pemberian gula jenis fruktosa yaitu sebesar 2,8.

Pada hasil pengujian pH dilakukan pengolahan menggunakan fungsi matematika, dan diketahui bahwa perubahan pH mengikuti fungsi logaritma, maka dilakukan pemaparan secara grafik untuk mengetahui perubahan yang terjadi selama proses fermentasi. Grafik fungsi logaritma dari perubahan nilai pH setiap 2 hari dapat dilihat pada Gambar 8.



Keterangan rumus:

Sukrosa: $f(x) = -0,389 \ln x + 4,005$; $R^2 = 0,983$

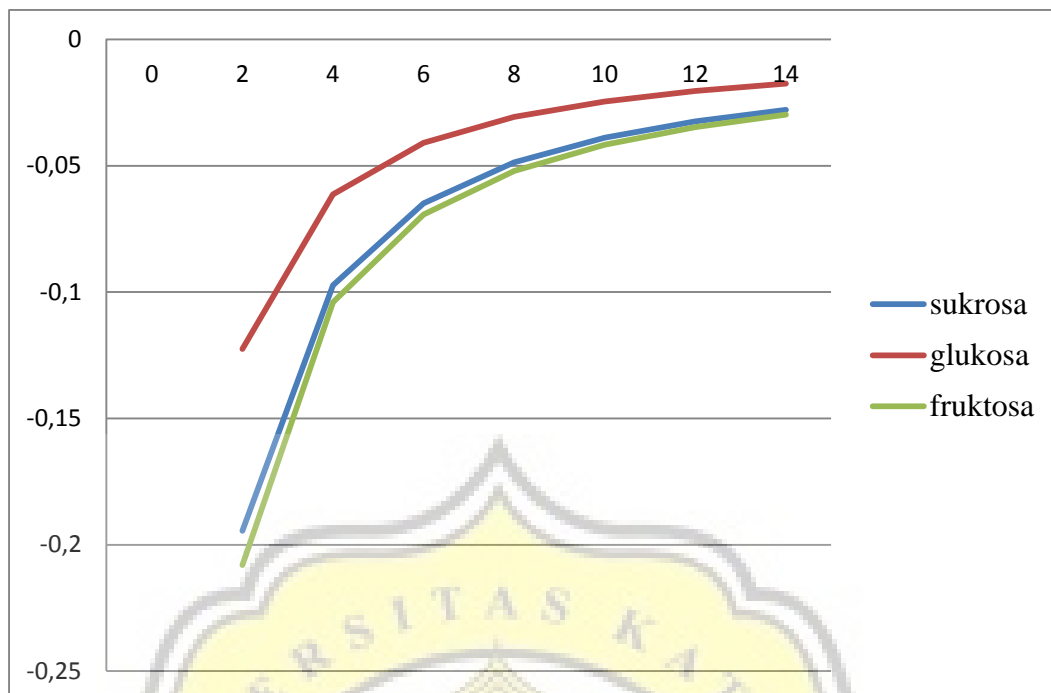
Glukosa: $f(x) = -0,245 \ln x + 3,783$; $R^2 = 0,818$

Fruktosa: $f(x) = -0,416 \ln x + 3,869$; $R^2 = 0,948$

Gambar 8. Grafik perubahan pH selama 14 hari fermentasi

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa secara keseluruhan selama proses fermentasi nilai pH mengalami penurunan pada ketiga perlakuan. Pada perlakuan penambahan gula jenis sukrosa pH mengalami penurunan hingga akhir fermentasi. Begitu pula pada perlakuan penambahan gula jenis glukosa pH menurun hingga akhir fermentasi namun pada akhir fermentasi pH akhir dari perlakuan ini memiliki nilai tertinggi. Pada perlakuan fruktosa pH menurun hingga hari terakhir, grafik penurunan pH perlakuan ini memiliki penurunan yang paling tajam.

Pada penelitian ini dilakukan penurunan fungsi logaritma dari perubahan pH untuk mengetahui laju perubahan pH dan perbedaan antar ketiganya. Grafik laju perubahan pH dapat dilihat pada Gambar 9.



Keterangan rumus:

Sukrosa: $f'(x) = -0,389/x$

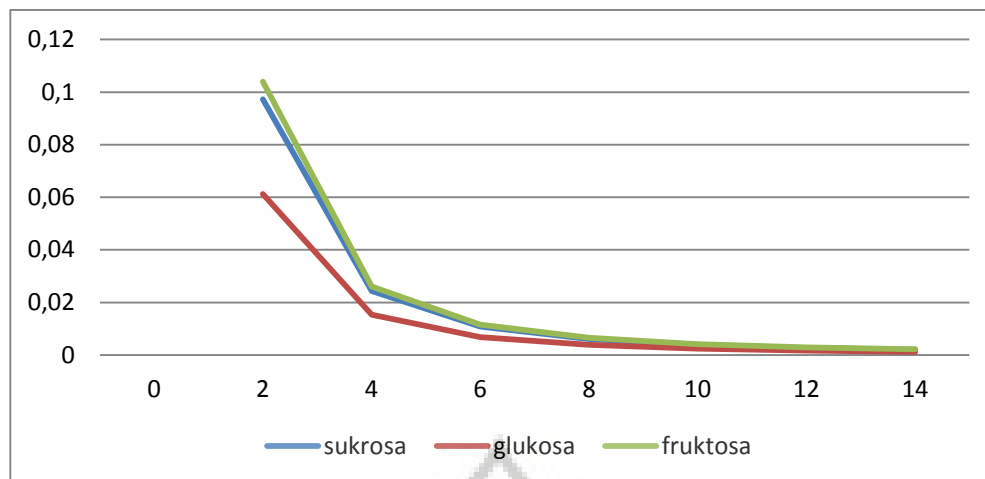
Glukosa: $f'(x) = -0,245/x$

Fruktosa: $f'(x) = -0,416/x$

Gambar 9. Turunan Logaritma Dari Perubahan Nilai pH

pada grafik turunan fungsi logaritma dari perubahan pH dapat diketahui ketiga perlakuan memiliki pola kurva yang sama yaitu terjadi peningkatan perubahan pH yang tajam hingga hari ke 8 kemudian laju perubahan pH mulai melambat. Perlakuan sukrosa dan fruktosa memiliki kurva laju perubahan pH yang berdekatan. Perlakuan glukosa memiliki kurva yang berada diatas kurva perlakuan sukrosa.

Pendekatan selanjutnya dilakukan penurunan kedua fungsi logaritma sehingga dapat diketahui percepatan perubahan pH. Percepatan perubahan pH pada ketiga perlakuan dapat dilihat pada gambar 10.



Keterangan rumus:

Sukrosa: $f''(x) = -0,389/x^2$

Glukosa: $f''(x) = -0,245/x^2$

Fruktosa: $f''(x) = -0,416/x^2$

Gambar 10. Percepatan perubahan pH

Pada gambar dapat dilihat percepatan perubahan pH pada ketiga perlakuan. Pada ketiga perlakuan terlihat memiliki pola percepatan yang sama. Percepatan menurun hingga hari ke 10 kemudian stabil hingga hari ke 14. Pada ketiga perlakuan tidak menunjukkan titik kritis, ketiga grafik tidak menyentuh sumbu x.

3.6. Aktivitas Antioksidan

Hasil pengujian aktivitas antioksidan dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian Aktivitas Antioksidan.

Hari	Aktivitas Antioksidan		
	PS (%)	PG (%)	PF (%)
0	82,86±0	80,38±4,07	93,04±0,13
2	88,92±2,02	86,96±5,24	90,57±4,38
4	90,75±1,86	89,10±8,25	91,20±2,22
6	91,53±1,59	93,65±0,56	91,43±2,81
8	84,81±3,29	92,99±1,23	92,07±1,71
10	86,29±4,63	93,48±1,38	88,46±3,34
12	86,33±3,93	91,24±5,72	91,35±2,14
14	90,29±1,43	96,66±0,41	95,63±1,04

Keterangan:

PS : perlakuan penambahan sukrosa

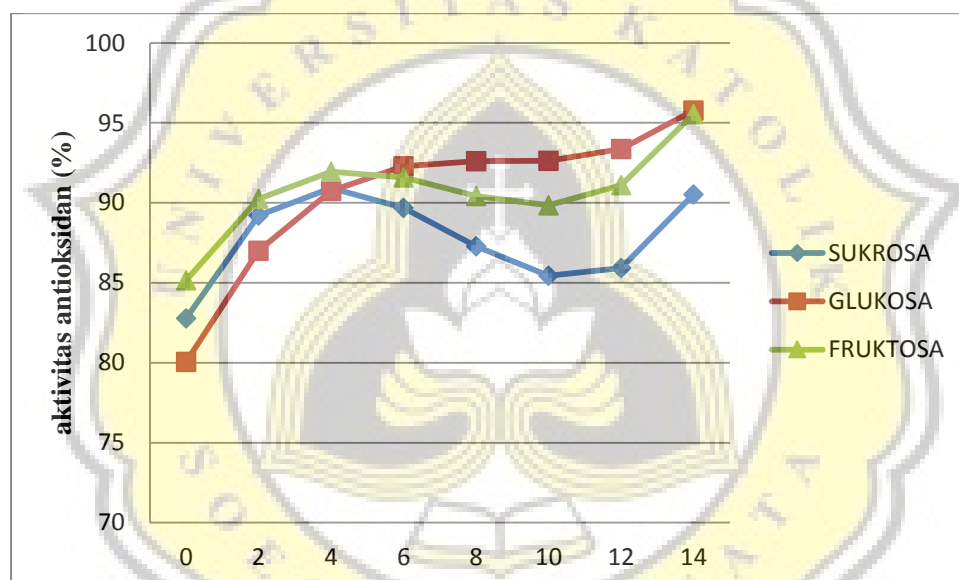
PG: perlakuan penambahan glukosa

PF : perlakuan penambahan fruktosa

% aktivitas antioksidan dibandingkan dengan larutan DPPH 0.03mM

Pada Tabel 7 dapat dilihat hasil pengujian aktivitas antioksidan selama 14 hari fermentasi. Pada awal fermentasi aktivitas antioksidan berkisar 80,38 % sampai 93,04%. Pada akhir fermentasi aktivitas antioksidan mengalami peningkatan menjadi berkisar pada 90,29% sampai 96,66%. Aktivitas antioksidan terbesar pada akhir fermentasi dihasilkan oleh perlakuan glukosa.

Pada penelitian ini dilakukan analisa hasil pengujian aktivitas antioksidan dilakukan pendekatan menggunakan sistem fungsi matematika, dan diketahui bahwa hasil pengujian aktivitas antioksidan mengikuti fungsi polinomial. Grafik fungsi polinomial aktivitas antioksidan dapat dilihat pada Gambar 11.



Keterangan rumus :

Sukrosa: $f(x) = 0,037x^3 - 0,809x^2 + 4,684x + 82,784$; $R^2 = 0,844$

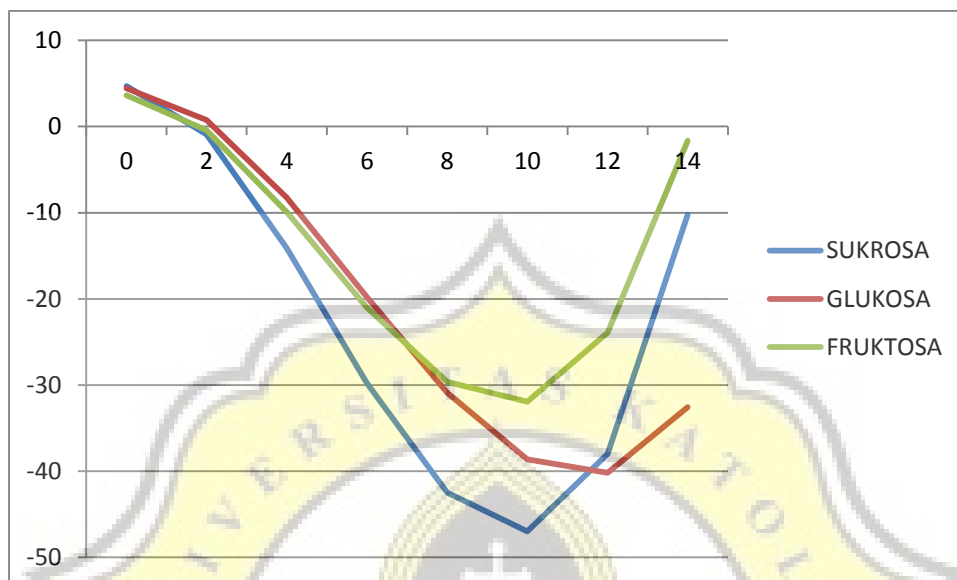
Glukosa: $f(x) = 0,020x^3 - 0,518x^2 + 4,418x + 80,065$; $R^2 = 0,939$

Fruktosa: $f(x) = 0,027x^3 - 0,588x^2 + 3,613x + 85,160$; $R^2 = 0,597$

Gambar 11. Aktivitas Antioksidan Selama 14 Hari Fermentasi

Pada Gambar diatas dapat dilihat perubahan aktivitas antioksidan pada setiap dua hari. Pada perlakuan sukrosa dan fruktosa aktivitas antioksidan mengalami peningkatan hingga hari keempat kemudian mengalami penurunan hingga hari ke 10 kemudian mengalami peningkatan kembali hingga hari ke 14. Pada perlakuan glukosa aktivitas antioksidan meningkat hingga hari ke 14.

Guna mengetahui laju perubahan aktivitas antioksidan maka dilakukan penurunan fungsi polinomial pangkat 3 menjadi pangkat 2. Grafik laju perubahan aktivitas antioksidan dapat dilihat pada Gambar 12.



Keterangan rumus :

Sukrosa: $f'(x) = 0,110x^2 - 1,618x + 4,684$

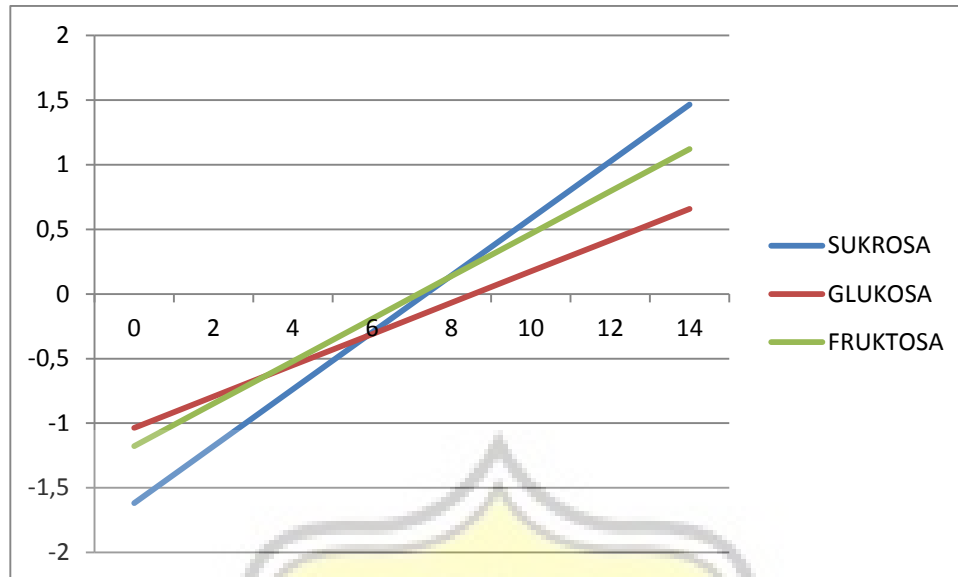
Glukosa: $f'(x) = 0,060x^2 - 1,035x + 4,418$

Fruktosa: $f'(x) = 0,082x^2 - 1,176x + 3,613$

Gambar 12. Turunan Fungsi Polinomial Aktivitas Antioksidan

Pada Gambar diatas dapat diamati grafik laju perubahan aktivitas antioksidan dari ketiga perlakuan. Pada perlakuan sukrosa dan fruktosa laju perubahan aktivitas antioksidan mengalami penurunan hingga hari ke 10 kemudian mengalami peningkatan hingga hari ke 14. Pada perlakuan glukosa laju perubahan aktivitas antioksidan mengalami penurunan hingga hari ke 12 kemudian mengalami peningkatan pada hari ke 14.

Guna mengetahui percepatan perubahan aktivitas antioksidan maka dilakukan penurunan fungsi polinomial pangkat 2 menjadi linier. Grafik percepatan aktivitas antioksidan dapt dilihat pada gambar 13.



Keterangan rumus :

Sukrosa: $f''(x) = 0,220x - 1,618$

Glukosa: $f''(x) = 0,121x - 1,035$

Fruktosa: $f''(x) = 0,164x - 1,176$

Gambar 13. Percepatan perubahan aktivitas antioksidan selama 14 hari

Pada grafik diatas dapat dilihat percepatan aktivitas antioksidan pada masing – masing perlakuan. Pada perlakuan sukrosa dan fruktosa menyentuh sumbu x pada hari ke 6 menuju hari ke 8. Perlakuan glukosa menyentuh sumbu x pada hari ke 8. Maka selanjutnya dicari titik kritis untuk mendapatkan titik dimana terjadi perubahan secara signifikan.

3.7. Analisa Grafik Model Matematika Aktivitas Antioksidan

Titik kritis tercapai pada persamaan:

Sukrosa:

$$Y = 0,220x - 1,618$$

$X = 7,345$, titik kritis tercapai pada hari ke 7

Kemudian persamaan diintegrasikan untuk memperoleh akumulasi aktivitas antioksidan sampai tercapai titik kritis

$$\int_0^{7,345} 0,037x^3 - 0,809x^2 + 4,684x + 82,784$$

$$= \int_0^{7,345} \frac{1}{4} 0,037x^4 - \frac{1}{3} 0,809x^3 + \frac{1}{2} 4,684x^2 + 82,784x$$

Luas I=

$$x=7,345$$

$$y=654,269$$

Luas II = x=0; y= 0

Total luas = Luas I-Luas II

$$=654,269-0$$

$$=654,269$$

Akumulasi aktivitas antioksidan hingga tercapai titik kritis yaitu pada hari ke 7 yaitu sebesar 654,269%.

Glukosa:

$$Y= 0,121x-1,035$$

X=8,560, titik kritis tercapai pada hari ke 8

Kemudian persamaan diintegrasikan untuk memperoleh akumulasi aktivitas antioksidan sampai tercapai titik kritis

$$\int_0^{8,560} 0,020x^3 - 0,518x^2 + 4,418x + 80,065$$

$$\int_0^{8,560} \frac{1}{4} 0,020x^4 - \frac{1}{3} 0,518x^3 + \frac{1}{2} 4,418x^2 + 80,065x$$

Luas I=

$$x=8,560$$

$$y=766,011$$

Luas II = x=0; y= 0

Total luas = Luas I-Luas II

$$=766,011-0$$

$$=766,011$$

Akumulasi aktivitas antioksidan hingga tercapai titik kritis yaitu pada hari ke 8 yaitu sebesar 766,011%.

Fruktosa:

$$Y= 0,164x-1,176$$

$X=7,164$, titik kritis tercapai pada hari ke 8

Kemudian persamaan diintegrasikan untuk memperoleh akumulasi aktivitas antioksidan sampai tercapai titik kritis.

$$\int_0^{7,164} 0,027x^3 - 0,588x^2 + 3,613x + 85,163$$

$$\int_0^{7,164} \frac{1}{4}0,027x^4 - 0,588\frac{1}{3}x^3 + 3,613\frac{1}{2}x^2 + 85,163x$$

Luas I=

$$x=7,164$$

$$y=648,752$$

$$\text{Luas II} = x=0; y=0$$

$$\text{Total luas} = \text{Luas I} - \text{Luas II}$$

$$=648,752-0$$

$$=648,752$$

Akumulasi aktivitas antioksidan hingga tercapai titik kritis yaitu pada hari ke 7 yaitu sebesar 648,752%.

Perbandingan waktu mencapai titik kritis dan akumulasi aktivitas antioksidan ketika mencapai titik kritis pada ketiga perlakuan dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Perbedaan titik kritis ketiga perlakuan

Titik kritis	PS	PG	PF
X (hari)	7,345	8,560	7,164
Y(%)	654,269	766,011	648,752

Keterangan:

PS : perlakuan penambahan sukrosa

PG: perlakuan penambahan glukosa

PF : perlakuan penambahan fruktosa

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa perlakuan fruktosa memiliki waktu yang paling singkat untuk mencapai titik kritis. Perlakuan glukosa memiliki luas area atau total aktivitas antioksidan paling besar hingga mencapai titik kritis.

3.8. Total Flavonoid

Hasil pengujian total flavonoid dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Pengujian Total Flavonoid.

Hari	Total Flavonoid		
	PS (mg/L)	PG (mg/L)	PF (mg/L)
0	2,398±0,521	2,862±0,173	2,429±0,519
2	3,219±1,013	3,193±0,730	3,271±0,411
4	2,202±0,200	2,221±0,076	2,129±0,303
6	1,964±0,142	2,395±0,503	1,957±0,088
8	2,233±0,192	2,136±0,069	2,162±0,154
10	2,993±0,064	3,460±0,617	3,521±0,333
12	3,011±0,836	3,455±0,738	3,686±1,019
14	4,126±1,267	4,350±1,507	4,424±0,699

Keterangan:

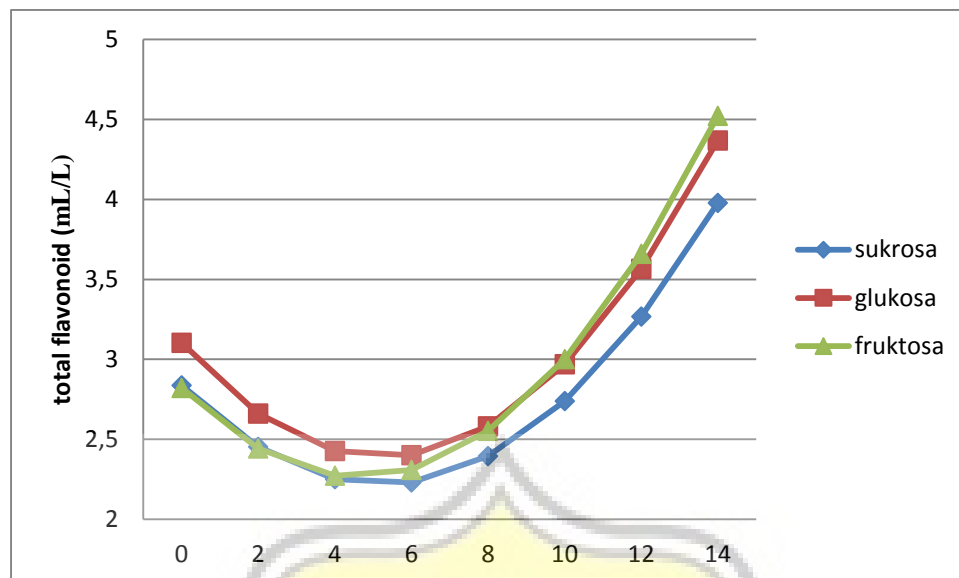
PS : perlakuan penambahan sukrosa

PG: perlakuan penambahan glukosa

PF : perlakuan penambahan fruktosa

Pada Tabel diatas dapat dilihat hasil pengujian total flavonoid selama 14 hari fermentasi. Pada awal fermentasi total flavonoid berkisar 2,398 – 2,862 ppm atau mg/L. pada akhir fermentasi total flavonoid berkisar 4,126 – 4,424 ppm atau mg/L. Nilai akhir tertinggi terdapat pada perlakuan fruktosa. Nilai akhir terendah terdapat pada perlakuan sukrosa.

Pada penelitian ini dilakukan analisa hasil pengujian total flavonoid menggunakan sistem fungsi matematika, dan diketahui bahwa hasil pengujian total flavonoid mengikuti fungsi polinomial. Grafik fungsi polinomial pengujian total flavonoid dapat dilihat pada Gambar 14.



Keterangan rumus :

Sukrosa: $f(x) = 0,023x^2 - 0,238x + 2,836$; $R^2 = 0,709$

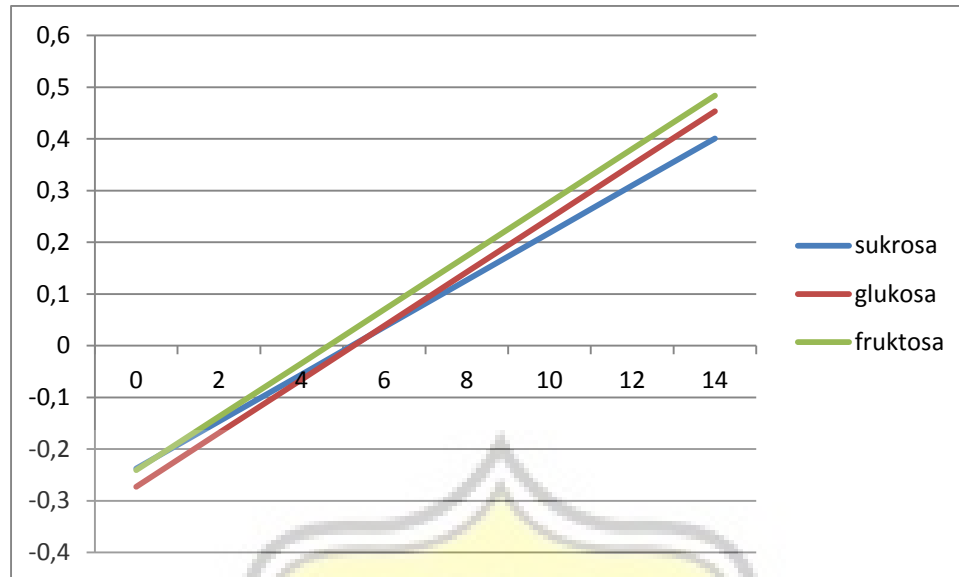
Glukosa: $f(x) = 0,026x^2 - 0,273x + 3,103$; $R^2 = 0,792$

Fruktosa: $f(x) = 0,026x^2 - 0,241x + 2,821$; $R^2 = 0,751$

Gambar 14. Hasil Uji Total Flavonoid

Pada Gambar diatas dapat diamati grafik fungsi polinomial dari hasil pengujian total flavonoid selama 14 hari fermentasi. Pada grafik diketahui bahwa ketiga perlakuan menunjukkan pola yang sama. Pada perlakuan sukrosa, glukosa dan fruktosa mengalami penurunan total flavonoid hingga hari ke 6 kemudian mengalami peningkatan hingga hari ke 14 atau hingga akhir fermentasi.

Pada grafik polinomial pangkat 2 dilakukan penurunan fungsi matematika menjadi fungsi linier sehingga dapat diketahui laju peubahan total flavonoid. Grafik linier dari turunan fungsi polinomial dari pengujian total flavonoid dapat dilihat pada Gambar 15.



Keterangan rumus:

Sukrosa: $f'(x) = 0,046x - 0,238$

Glukosa: $f'(x) = 0,052x - 0,273$

Fruktosa: $f'(x) = 0,052x - 0,241$

Gambar 15. Turunan Fungsi Polinomial dari Uji Total Flavonoid

Pada Gambar diatas dapat dilihat grafik laju perubahan total flavonoid. Pada ketiga perlakuan memiliki pola laju perubahan total flavonoid yang serupa. Pada perlakuan sukrosa menyentuh sumbu x atau mencapai titik kritis sebelum hari ke 4. Pada perlakuan sukrosa dan glukosa menyentuh sumbu x atau mencapai titik kritis pada hari ke 4.

3.9. Analisa Grafik Model Matematika Total Flavonoid

Titik kritis tercapai pada persamaan:

Sukrosa:

$$Y = 0,046x - 0,238$$

$$X = 5,213, \text{ titik kritis tercapai pada hari ke 5}$$

Kemudian persamaan diintegalkan untuk memperoleh akumulasi total flavonoid sampai tercapai titik kritis.

$$\int_0^{5,213} 0,023x^2 - 0,238x + 2,836$$

$$= \int_0^{5,213} \frac{1}{3} 0,023x^3 - \frac{1}{2} 0,238x^2 + 2,836x$$

Luas I=

$$x=5,213$$

$$y=12,630$$

$$\text{Luas II} = x=0; y=0$$

$$\text{Total luas} = \text{Luas I} - \text{Luas II}$$

$$=12,630-0$$

$$=12,630$$

akumulasi total flavonoid hingga tercapai titik kritis yaitu pada hari ke 7 yaitu sebesar 12,630 mL/L.

Glukosa:

$$Y = 0,052x - 0,273$$

$$X = 5,258, \text{ titik kritis tercapai pada hari ke 5}$$

Kemudian persamaan diintegrasikan untuk memperoleh akumulasi total flavonoid sampai tercapai titik kritis.

$$\int_0^{5,258} 0,026x^2 - 0,273x + 3,103$$

$$= \int_0^{5,258} \frac{1}{3} 0,026x^3 - \frac{1}{2} 0,273x^2 + 3,103x$$

Luas I=

$$x=5,258$$

$$y=13,800$$

$$\text{Luas II} = x=0; y=0$$

$$\text{Total luas} = \text{Luas I} - \text{Luas II}$$

$$=13,800-0$$

$$=13,800$$

akumulasi total flavonoid hingga tercapai titik kritis yaitu pada hari ke 7 yaitu sebesar 13,800 mL/L.

Fruktosa:

$$Y = 0,052x - 0,241$$

X=4,650, titik kritis tercapai pada hari ke 4

Kemudian persamaan diintegrasikan untuk memperoleh akumulasi total flavonoid sampai tercapai titik kritis.

$$\int_0^{4,650} 0,026x^2 - 0,241x + 2,821$$

$$= \int_0^{4,650} \frac{1}{3} 0,026x^3 - \frac{1}{2} 0,241x^2 + 2,821x$$

Luas I=

x=4,650

y=11,384

Luas II = x=0; y= 0

Total luas= Luas I- Luas II

$$=11,384-0$$

$$=11,384$$

Akumulasi total flavonoid hingga tercapai titik kritis yaitu pada hari ke 7 yaitu sebesar 11,384mL/L.

Perbandingan waktu dan akumulasi total flavonoid pada titik kritis dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Perbandingan waktu dan akumulasi total flavonoid

Titik kritis	PS	PG	PF
X (hari)	5.213	5.258	4.650
Y(mL/L)	12.630	13.800	11.384

Keterangan:

PS : perlakuan penambahan sukrosa

PG: perlakuan penambahan glukosa

PF : perlakuan penambahan fruktosa

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa perlakuan fruktosa memiliki waktu yang paling singkat untuk mencapai titik kritis. Perlakuan glukosa memiliki luas area atau total flavonoid paling besar hingga mencapai titik kritis.

3.10. Kemampuan Probiotik Produk Akhir

Pada penelitian ini dilakukan pengujian kemampuan probiotik pada produk akhir fermentasi. Pengujian kemampuan probiotik meliputi pengujian ketahanan terhadap pH rendah dan ketahanan terhadap asam empedu. Data hasil pengujian ketahanan terhadap asam dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Hasil pengujian ketahanan terhadap pH rendah.

pH	PS(logCFU/mL)	PG(logCFU/mL)	Pf(logCFU/mL)
Kontrol	8,2±0,122 ^{cd}	8,663±0,851 ^f	8,563±0,096 ^f
2	8,2±0,123 ^{cd}	7,76±0,106 ^a	8,157±0,101 ^c
2,5	7,96±0,040 ^b	8,563±0,035 ^f	8,383±0,038 ^e
3	8,017±0,611 ^b	7,71±0,053 ^a	8,337±0,015 ^{dc}

Keterangan:

PS : perlakuan penambahan sukrosa

PG: perlakuan penambahan glukosa

PF : perlakuan penambahan fruktosa

- Semua nilai merupakan rata-rata ±standar deviasi
- Nilai dengan baris yang sama namun dengan *superscript* yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata pada signifikansi 0,05 berdasarkan pengujian *One Way ANOVA*.

Pada tabel dapat diamati bahwa pada tingkat kepercayaan 95% perlakuan sukrosa pada pH kontrol dan pH 2 tidak berbeda nyata, sedangkan pada pH kontrol dan pH 2,5 dan 3 terdapat perbedaan nyata. Pada perlakuan glukosa, perlakuan kontrol memiliki perbedaan nyata dengan perlakuan pH 2 dan pH 3, tetapi tidak berbeda nyata pada perlakuan pH 2,5. Pada perlakuan sukrosa, perlakuan kontrol memiliki perbedaan nyata dengan perlakuan pH 2, pH 2,5, dan pH 3. Jika dibandingkan antar perlakuan penambahan gula. Pada pH 2, perlakuan sukrosa memiliki perbedaan nyata dengan perlakuan glukosa dan fruktosa. Begitu pula perlakuan glukosa memiliki perbedaan nyata dengan perlakuan fruktosa. Pada pH 2,5, perlakuan sukrosa memiliki perbedaan nyata dengan perlakuan glukosa dan fruktosa. Pada pH 3, perlakuan sukrosa memiliki perbedaan nyata dengan perlakuan glukosa dan fruktosa.

Data hasil pengujian ketahanan terhadap asam empedu dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 12. Hasil pengujian ketahanan terhadap asam empedu

Perlakuan	PS (CFU/mL)	PG(CFU/mL)	PF(CFU/mL)
Kontrol	8,20±0,126 ^b	8,663±0,082 ^c	8,628±0,096 ^c
Ketahanan terhadap Asam Empedu	8,20±0,019 ^b	8,051±0,010 ^b	7,611±0,139 ^a

Keterangan:

PS : perlakuan penambahan sukrosa

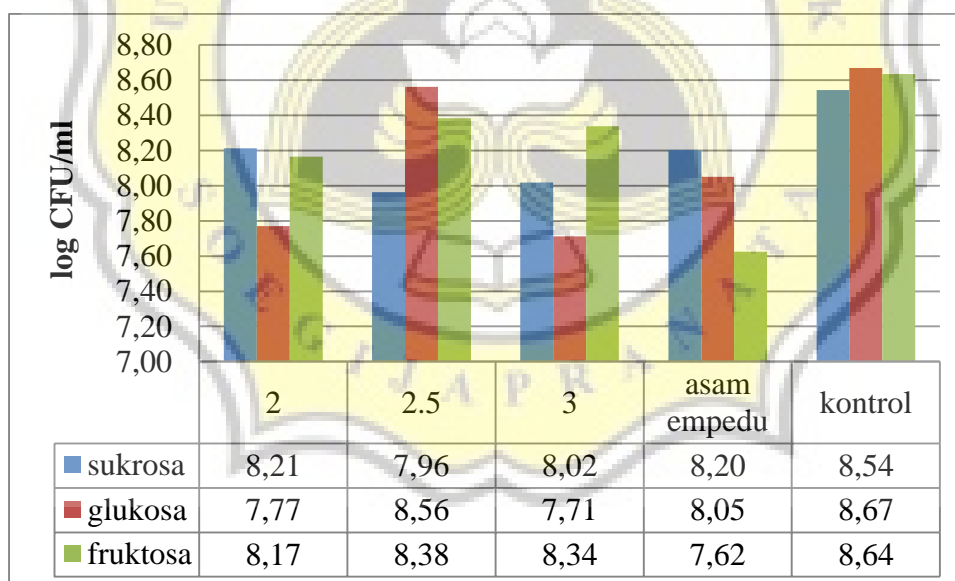
PG: perlakuan penambahan glukosa

PF : perlakuan penambahan fruktosa

- Semua nilai merupakan rata-rata ±standar deviasi
- Nilai dengan baris yang sama namun dengan *superscript* yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata pada signifikansi 0,05 berdasarkan pengujian *One Way ANOVA*.

Pada tabel diatas dapat dilihat ketahanan terhadap asam empedu dari ketiga perlakuan. Perlakuan sukrosa memberikan hasil tertinggi namun, perlakuan glukosa tidak memberikan beda nyata terhadap perlakuan sukrosa. Perlakuan fruktosa memberikan beda nyata dengan perlakuan glukosa maupun fruktosa pada tingkat kepercayaan 95%.

Hasil pengujian kemampuan probiotik dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Hasil Pengujian Kemampuan Probiotik

Pada grafik batan diatas dapat dilihat hasil pengujian kemampuan probiotik pada produk akhir kombucha. Pada pengujian ketahanan terhadap pH rendah perlakuan sukrosa dapat bertahan optimum pada pH 2, namun perbedaan jumlah bakteri yang bertahan pada setia pH tidak terlalu berbeda. Perlakuan glukosa dapat

bertahan secara optimum pada pH 2,5. Pada perlakuan fruktosa bakteri dapat bertahan secara optimum pada setiap pH karena perbedaan bakteri yang dapat bertahan pada setiap pH tidak terlalu berbeda. Pada pengujian ketahanan terhadap garam empedu, perlakuan sukrosa memiliki ketahanan yang paling baik, diikuti oleh perlakuan glukosa kemudian yang terakhir adalah perlakuan fruktosa.

