

**KARAKTERISTIK GULA CAIR SORGUM YANG
DIPENGARUHI OLEH VARIASI SUHU EVAPORASI DAN
KECEPATAN PENGADUK PADA *VACUUM EVAPORATOR***

TUGAS AKHIR

**Karya Tulis Sebagai Salah Satu Syarat Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Dari Universitas
Pasundan**

Oleh :

**Jidan Alfarizi
22.302.0086**



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2026**

ABSTRAK

KARAKTERISTIK GULA CAIR SORGUM YANG DIPENGARUHI OLEH VARIASI SUHU EVAPORASI DAN KECEPATAN PENGADUK PADA VACUUM EVAPORATOR

Oleh

Jidan Alfarizi

NPM: 223020086

Program studi Teknologi Pangan

Sorgum manis merupakan komoditas lokal yang potensial sebagai pemanis alternatif untuk mendukung ketahanan pangan dan mengurangi ketergantungan impor gula. Nira dari batang sorgum memang kaya akan gula, tetapi pengolahan secara konvensional sering menurunkan mutu akhir produk. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi karakteristik fisik, kimia, dan mikrobiologi gula cair sorgum yang dipengaruhi oleh suhu evaporasi dan kecepatan pengaduk pada vacuum evaporator. Metode terdiri atas penelitian pendahuluan untuk mengetahui karakteristik awal nira dan penelitian utama dengan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial 3×3 dan dua kali ulangan. Faktor yang diuji adalah suhu evaporasi (60°C , 70°C , 80°C) dan kecepatan pengaduk (26 rpm, 36 rpm, 48 rpm). Parameter yang diamati meliputi total padatan terlarut (TPT), warna (L^*a^*b), viskositas, kadar air, gula reduksi, gula total, dan angka lempeng total (TPC). Hasil penelitian menunjukkan bahwa interaksi antara suhu dan kecepatan pengaduk berpengaruh nyata terhadap TPT, viskositas, kadar air, gula reduksi, dan gula total. Perlakuan terbaik ditemukan pada suhu 80°C dengan kecepatan pengaduk 36 rpm, yang menghasilkan gula cair dengan TPT 74,10 °Brix, kadar air 18,02%, gula reduksi 35,13%, viskositas 995 cP, serta warna cokelat kekuningan ($L=33,04$; $a=2,96$; $b=16,61$). Produk yang dihasilkan juga telah memenuhi standar mutu SNI 01-2978-1992, baik dari sisi kadar air maupun cemaran mikroba. Secara keseluruhan, penggunaan vacuum evaporator dengan pengendalian suhu dan agitasi yang optimal terbukti mampu menghasilkan gula cair sorgum dengan karakteristik yang baik.

ABSTRACT

Characteristics of Sorghum Liquid Sugar Influenced by Variations in Evaporation Temperature and Stirring Speed in a Vacuum Evaporator

Oleh

Jidan Alfarizi

NPM: 223020086

Program studi Teknologi Pangan

Sweet sorghum was considered a potential local commodity as an alternative sweetener to support food security and reduce dependence on sugar imports. The sap from sorghum stalks was indeed rich in sugar, but conventional processing often decreased the final product quality. This study aimed to evaluate the physical, chemical, and microbiological characteristics of sorghum liquid sugar as influenced by evaporation temperature and stirrer speed in a vacuum evaporator. The method consisted of a preliminary study to determine the initial characteristics of the sap and a main study using a 3×3 factorial Randomized Complete Block Design (RCBD) with two replications. The factors tested were evaporation temperature (60°C, 70°C, 80°C) and stirrer speed (26 rpm, 36 rpm, 48 rpm). The observed parameters included total soluble solids (TSS), color ($L^*a^*b^*$), viscosity, water content, reducing sugar, total sugar, and total plate count (TPC). The results showed that the interaction between temperature and stirrer speed significantly affected TSS, viscosity, water content, reducing sugar, and total sugar. The best treatment was found at a temperature of 80°C with a stirrer speed of 36 rpm, which produced liquid sugar with a TSS of 74.10 °Brix, water content of 18.02%, reducing sugar of 35.13%, viscosity of 995 cP, and a yellowish-brown color ($L=33.04$; $a=2.96$; $b=16.61$). The resulting product also met the quality standard of SNI 01-2978-1992, in terms of both water content and microbial contamination. Overall, the use of a vacuum evaporator with optimal temperature control and agitation proved to be capable of producing sorghum liquid sugar with good characteristics.

**KARAKTERISTIK GULA CAIR SORGUM YANG
DIPENGARUHI OLEH VARIASI SUHU EVAPORASI DAN
KECEPATAN PENGADUK PADA *VACUUM EVAPORATOR***

TUGAS AKHIR

**Karya Tulis Sebagai Salah Satu Syarat Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Dari Universitas
Pasundan**

Oleh:

**Jidan Alfarizi
22.302.0086**

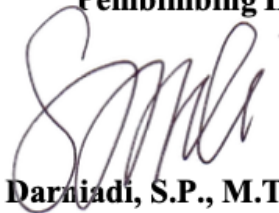
Menyetujui :

Pembimbing I



Prof. Dr. Ir. Wisnu Cahyadi, M.Si.

Pembimbing II



Sandi Darniadi, S.P., M.T., Ph.d

**KARAKTERISTIK GULA CAIR SORGUM YANG
DIPENGARUHI OLEH VARIASI SUHU EVAPORASI DAN
KECEPATAN PENGADUK PADA *VACUUM EVAPORATOR***

TUGAS AKHIR

Karya Tulis Sebagai Salah Satu Syarat Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Dari Universitas
Pasundan

Oleh :
Jidan Alfarizi
223020086

Menyetujui,

Atas Nama Ketua Prodi Teknologi Pangan Universitas Pasundan

Koordinator Belmawabud,

Rizal Maulana Ghaffar, S.T., M.T.

PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Fakultas dan Universitas, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Universitas Pasundan. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kaidah ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Sitasi hasil penelitian Tugas Akhir ini dapat di tulis dalam bahasa Indonesia sebagai berikut:

Alfarizi, J. (2026): *Karakteristik Gula Cair Sorgum yang Dipengaruhi oleh Variasi Suhu Evaporasi dan Kecepatan Pengaduk pada Vacuum Evaporator*, Tugas Akhir Program Sarjana, Universitas Pasundan.

Alfarizi, J. (2026): *Characteristics of Sorghum Liquid Sugar Influenced by Variations in Evaporation Temperature and Stirring Speed in a Vacuum Evaporator*, Bachelor's Thesis, Universitas Pasundan.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh tugas akhir haruslah seizin Dekan Fakultas Teknik Universitas Pasundan.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat Tugas Akhir dengan Judul karakteristik gula cair sorgum yang dipengaruhi oleh suhu dan variasi pengaduk pada *vacuum evaporator*. Penulis Tugas Akhir ini merupakan program sarjana di Program Studi Teknologi Pangan Fakultas Teknik Universitas Pasundan.

Penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan atas bantuan doa dan dukungan motivasi baik secara langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak, oleh sebab itu penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Dosen Pembimbing yaitu Prof. Dr. Ir. Wisnu Cahyadi, M.Si. yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, motivasi, dan juga ilmu selama penulisan Tugas Akhir.
2. Dosen Pembimbing yaitu Sandi Darniadi, S.P., M.T., Ph.d. yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, motivasi, dan juga ilmu selama penulisan Tugas Akhir.
3. Ketua Program Studi Teknologi Pangan Universitas Pasundan Bandung, Jaka Rukmana, S.T., M.T. dan Sekretaris Program Studi Teknologi Pangan Universitas Pasundan, Dr. Ira Endah Rohima, S.T., M.Si, serta Koordinator Belmawabud Program Studi Teknologi Pangan Universitas

Pasundan, Rizal Maulana Ghaffar, S.T., M.T. Serta dosen-dosen di lingkup Program Studi Teknologi Pangan Universitas Pasundan.

4. Kepada Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) dan Sorgum Center Indonesia (SCI) Sein Farm yang telah memberikan kesempatan dan kepercayaan kepada penulis untuk melakukan penelitian di perusahaan tersebut, serta atas segala bantuan dan informasi yang sangat berharga selama proses penyusunan Tugas Akhir.
5. Kedua orang tua tercinta yaitu kedua orang tua, yang menjadi alasan penulis untuk selalu semangat dan berjuang untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Kepada teman, sahabat dan penyemangat bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini masih memiliki berbagai kekurangan dan belum sepenuhnya sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun guna perbaikan di masa mendatang. Semoga segala bentuk dukungan dan bantuan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah SWT. Penulis juga berharap laporan ini dapat memberikan manfaat, baik bagi diri sendiri maupun bagi para pembaca, serta turut berkontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	8
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian	8
1.4 Manfaat Penelitian	9
1.5 Kerangka Pemikiran	9
1.6 Hipotesis Penelitian	12
1.7 Waktu dan Tempat Penelitian	12
TINJAUAN PUSTAKA	12
2.1 Sorgum.....	12
2.2 Gula cair.....	21
2.3 Vacuum Evaporator	27
METODE PENELITIAN	35
3.1 Bahan dan alat	35
3.2 Metode Penelitian	36
3.2.1 Penelitian Pendahuluan.....	36
3.2.2. Penelitian Utama	37
3.2.3. Rancangan Perlakuan.....	37
3.3 Prosedur Penelitian	42
3.3.1 Deskripsi Pembuatan Gula Cair Sorgum	42
3.3.1.1 Deskripsi Penelitian Pendahuluan.....	42
3.3.1.2 Deskripsi Penelitian Utama	42

1. Ekstraksi (Pengepresan)	42
2. Penyaringan	42
3. Penimbangan	43
4. Evaporasi	43
5. Pengujian	43
HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1 Penelitian Pendahuluan	46
4.1 Penelitian Utama	48
4.2.1 Respon Fisik	50
4.2.2 Respon Kimia	81
4.2.3 Respon Mikrobiologi	105
KESIMPULAN DAN SARAN	115
5.1 Kesimpulan	115
5.2 Saran	116
DAFTAR PUSTAKA	123
LAMPIRAN	122

DAFTAR TABEL

No.	Halamanan
1. Standar Mutu Sirup Gula diatur berdasarkan SNI 01-2978-1992	21
2. Matriks Percobaan Rancangan Acak Kelompok dengan Pola Faktorial 3x3 dengan 2 kali Ulangan	35
3. Denah (<i>Lay Out</i>) Rancangan Percobaan	37
4. Analisis Variasi (ANAVA)	37
5. Pengujian Pengaruh Variasi Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Total Padatan Terlarut ($^{\circ}$ Brix)	57
6. Pengujian Pengaruh Variasi Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Warna Intensitas (L^*).....	58
7. Pengujian Pengaruh Variasi Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Warna Intensitas (a^*)	59
8. Pengujian Pengaruh Variasi Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Warna Intensitas (b^*).....	60
9. Pengujian Pengaruh Variasi Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Viskositas	62
10. Pengujian Pengaruh Variasi Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Kadar Air	63
11. Pengujian Pengaruh Variasi Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Gula Pereduksi	64
12. Pengujian Pengaruh Variasi Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Kadar Sukrosa	65
13. Pengujian Pengaruh Variasi Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Gula Total	66
14. Data Hasil Respon Fisik Total Padatan Terlarut	137
15. Analisis Variasi (ANAVA) Respon Fisik Total Padatan Terlarut	137
16. Uji Lanjut Duncan Respon Fisik Total Padatan Terlarut	138
17. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d1 Terhadap Total Padatan Terlarut	138

18. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d2 Terhadap Total Padatan Terlarut	138
19. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d3 Terhadap Total Padatan Terlarut	138
20. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t1 (26 rpm) Terhadap Total Padatan Terlarut ...	139
21. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t2 (36 rpm) Terhadap Total Padatan Terlarut	139
22. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t3 (48 rpm) Terhadap Total Padatan Terlarut ...	139
23. Pengujian Pengaruh Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Total Padatan Terlarut	140
24. Data Hasil Respon Fisik Warna (L^*) ...	141
25. Analisis Variasi (ANAVA) Respon Fisik Warna (L^*)	141
26. Uji Lanjut Duncan Respon Fisik Warna (L^*)	142
27. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d1 Terhadap Warna (L^*)	142
28. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d2 Terhadap Warna (L^*)	143
29. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d3 Terhadap Warna (L^*)	143
30. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t1 (26 rpm) Terhadap Warna (L^*) .	143
31. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t2 (36 rpm) Terhadap Warna (L^*) ...	143
32. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t3 (48 rpm) Terhadap Warna (L^*) ...	143
33. Pengujian Pengaruh Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Warna (L^*)	144
34. Data Hasil Respon Fisik Warna (a^*) .	145
35. Analisis Variasi (ANAVA) Respon Fisik Warna (a^*)	145
36. Uji Lanjut Duncan Respon Fisik Warna (a^*)	145

37. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d1 Terhadap Warna (a^*) ..	146
38. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d2 Terhadap Warna (a^*) ...	146
39. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d3 Terhadap Warna (a^*) ...	146
40. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t1 (26 rpm) Terhadap Warna (a^*)	14
41. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t2 (36 rpm) Terhadap Warna (a^*)	146
42. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t3 (48 rpm) Terhadap Warna (a^*)	146
43. Pengujian Pengaruh Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Warna (a^*) ...	148
44. Data Hasil Respon Fisik Warna (b^*) .	149
45. Analisis Variasi (ANAVA) Respon Fisik Warna (b^*)	149
46. Uji Lanjut Duncan Respon Fisik Warna (b^*) .	149
47. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d1 Terhadap Warna (b^*)	150
48. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d2 Terhadap Warna (b^*) ..	151
49. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d3 Terhadap Warna (b^*)	151
50. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t1 (26 rpm) Terhadap Warna (b^*) .	152
51. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t2 (36 rpm) Terhadap Warna (b^*) ...	153
52. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t3 (48 rpm) Terhadap Warna (b^*) ...	153
53. Pengujian Pengaruh Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Warna (b^*)	154
54. Data Hasil Respon Fisik Viskositas ...	154
55. Analisis Variasi (ANAVA) Respon Fisik Viskositas ..	154
56. Uji Lanjut Duncan Respon Fisik Viskositas .	155

57. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d1 Terhadap Viskositas	155
58. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d2 Terhadap Viskositas ...	155
59. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d3 Terhadap Viskositas .	155
60. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t1 (26 rpm) Terhadap Viskositas ..	156
61. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t2 (36 rpm) Terhadap Viskositas	156
62. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t3 (48 rpm) Terhadap Viskositas	156
63. Pengujian Pengaruh Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Viskositas	156
64. Data Hasil Respon Kimia Kadar Air	157
65. Analisis Variasi (ANAVA) Respon Kimia Kadar Air	157
66. Uji Lanjut Duncan Respon Kimia Kadar Air	157
67. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d1 Terhadap Kadar Air	158
68. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d2 Terhadap Kadar Air	158
69. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d3 Terhadap Kadar Air.....	158
70. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t1 (26 rpm) Terhadap Kadar Air.....	158
71. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t2 (36 rpm) Terhadap Kadar Air.....	159
72. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t3 (48 rpm) Terhadap Kadar Air.....	159
73. Pengujian Pengaruh Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Kadar Air	160
74. Data Hasil Respon Kimia Gula Pereduksi	161
75. Analisis Variasi (ANAVA) Respon Kimia Gula Pereduksi	161
76. Uji Lanjut Duncan Respon Kimia Gula Pereduksi	162

77. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d1 Terhadap Gula Pereduksi	162
78. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d2 Terhadap Gula Pereduksi	163
79. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d3 Terhadap Gula Pereduksi	163
80. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t1 (26 rpm) Terhadap Gula Pereduksi	163
81. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t2 (36 rpm) Terhadap Gula Pereduksi	164
82. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t3 (48 rpm) Terhadap Gula Pereduksi	165
83. Pengujian Pengaruh Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Gula Pereduksi	168
84. Data Hasil Respon Kimia Gula Sukrosa	166
85. Analisis Variasi (ANAVA) Respon Kimia Gula Sukrosa	167
86. Uji Lanjut Duncan Respon Kimia Gula Sukrosa	168
87. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d1 Terhadap Sukrosa	168
88. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d2 Terhadap Sukrosa.....	169
89. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d3 Terhadap Sukrosa.....	169
90. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t1 (26 rpm) Terhadap Sukrosa	169
91. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t2 (36 rpm) Terhadap Sukrosa.....	170
92. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t3 (48 rpm) Terhadap Sukrosa	171
93. Pengujian Pengaruh Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Sukrosa	172
94. Data Hasil Respon Kimia Gula Total	172
95. Analisis Variasi (ANAVA) Respon Kimia Gula Total	173
96. Uji Lanjut Duncan Respon Kimia Gula Total.....	173

97. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d1 Terhadap Gula Total	173
98. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d2 Terhadap Gula Total	174
99. Uji Pengaruh Faktor Kecepatan Pengaduk (T) pada Taraf d3 Terhadap Gula Total	174
100. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t1 (26 rpm) Terhadap Gula Total	174
101. Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t2 (36 rpm) Terhadap Gula Total	175
102 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t3 (48 rpm) Terhadap Gula Total	175
103. Pengujian Pengaruh Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Gula Total	176

DAFTAR GAMBAR

No.		Halaman
1	Tanaman sorgum manis.....	12
2	Mesin <i>Vacuum Evaporator</i> BRIN.....	26
3	Skema alur proses mesin <i>Vacuum Evaporator</i> BRIN.....	26
4	Diagram Alir Pembuatan Gula Sorgum Cair.....	41

DAFTAR LAMPIRAN

No	Halaman
1	Penentuan Jumlah Ulangan.....46
2	Prosedur Analisis Total Padatan Terlarut (Bayu, dkk. 2017).....48
3	Prosedur Uji Warna (Cahyadi dkk., 2024).....49
4	Prosedur Analisis Viskositas (Diadaptasi dari Amanda, dkk. 2022).....54
5	Prosedur Pengujian Kadar Air (AOAC, 2016).....56
6	Prosedur Analisis Gula Pereduksi, Gula Total, dan Gula Non-Pereduksi Metode Luff Schoorl (BSN, 1992. 2019).....61
7	Prosedur Analisis Angka Lempeng Total (ALT) / Total Plate Count (TPC) SNI 01-2332.3-2006.....63
8	Data Hasil Analisis Kadar Gula Reduksi Gula Cair Sorgum Pada Penelitian Utama.....178
9.	Lampiran 8 Data Hasil Analisis Kadar Air Gula Cair Sorgum Pada Penelitian Utama.....180
10	Dokumentasi Analisis Respon Gula Cair Sorgum Pada Penelitian.....181

PENDAHULUAN

Bagian ini akan mengurai: (1.1) Latar Belakang, (1.2) Identifikasi Masalah, (1.3) Maksud dan Tujuan penelitian, (1.4) Manfaat Penelitian, (1.5) Kerangka Pemikiran, (1.6) Hipotesis Penelitian, (1.7) Tempat dan Waktu Penelitian.

1.1 Latar Belakang

Ketahanan pangan merupakan salah satu pilar krusial dalam pembangunan nasional yang membutuhkan inovasi serta komitmen berkelanjutan. Di tengah dinamika kebutuhan pokok yang terus meningkat, diversifikasi pangan berbasis komoditas lokal menjadi langkah strategis untuk menciptakan kemandirian suatu bangsa. Menurut Cahyadi, dkk. (2022), perwujudan ketahanan pangan di Indonesia tidak cukup jika hanya bergantung pada komoditas konvensional, melainkan harus mulai mengoptimalkan potensi tanaman lokal yang memiliki daya adaptasi tinggi dan mampu tumbuh produktif di berbagai kondisi lingkungan, termasuk di lahan suboptimal.

Sebagai implementasi nyata dari strategi diversifikasi tersebut, sorgum menjadi salah satu komoditas lokal yang dinilai paling menjanjikan sebagai solusi ketahanan pangan di masa depan. Sorgum memiliki keunggulan daya adaptasi yang tinggi, mampu tumbuh optimal di berbagai kondisi lingkungan termasuk di lahan suboptimal, serta dapat diolah secara terintegrasi dari hulu hingga hilir. Optimalisasi komoditas lokal seperti sorgum tidak hanya memperkuat penyangga ketahanan pangan pokok, tetapi juga menjadi instrumen penting untuk menekan ketergantungan Indonesia

terhadap impor secara masif guna menjembatani ketimpangan antara tingginya kebutuhan di dalam negeri dengan kapasitas produksi nasional.

Indonesia merupakan negara dengan tingkat konsumsi gula yang tinggi. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2025, kebutuhan gula nasional mencapai sekitar 6,33 juta ton, sedangkan produksi gula nasional hanya sebesar 2,67 juta ton, kondisi ini menyebabkan Indonesia perlu mengimpor gula untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Selain itu, kebutuhan gula di dalam negeri terus mengalami peningkatan. Sehingga, diperlukan sumber alternatif gula selain gula tebu dan salah satunya adalah sorgum.

Sorgum termasuk tanaman yang memiliki banyak manfaat karena pada bagian biji sorgum dapat dijadikan alternatif pengganti beras dan diolah menjadi tepung serta pati, sedangkan pada batang sorgum dapat diolah menjadi gula cair, gula semut, dan gula petak (Nurcholis dan Puspitaningrum, 2019). Ekstraksi nira batang sorgum dimulai dengan teknik penggilingan. Setelah pemanenan batang sorgum, dilakukan proses penggilingan (*crusher*), sehingga dihasilkan nira dan ampas batang sorgum (*baggase*), lalu dilanjutkan dengan proses pernyaringan ke sehingga dihasilkan nira sogum (Noerhartati, dkk. 2013). Menurut Oktem (2024), batang sorgum memiliki kandungan gula sebesar 13-20% sehingga berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan pemanis seperti gula cair.

Walaupun menyimpan potensi sebagai solusi ketahanan pangan nasional, eksploitasi komoditas sorgum di Indonesia masih belum berjalan secara optimal. Hingga saat ini, budidaya sorgum seringkali hanya dijadikan sebagai tanaman sela

dengan rantai pemanfaatan yang terputus di tingkat hulu, di mana hasil panennya kerap langsung dijual mentah atau hanya dijadikan pakan ternak (Suarni & Firmansyah, 2013). Belum terbangunnya industri hilir yang kuat, khususnya dalam mengekstraksi batang sorgum menjadi gula cair, menyebabkan komoditas ini kehilangan potensi nilai tambah ekonominya secara drastis. Kendala utamanya terletak pada terbatasnya penerapan teknologi pengolahan di tingkat produsen yang mampu mengawetkan dan meningkatkan mutu nira sorgum menjadi produk siap pakai. Selama proses pengolahan masih mengandalkan cara-cara konvensional yang berisiko menurunkan kualitas sensori dan gizi, sorgum akan sulit bersaing dengan komoditas pemanis utama. Oleh karenanya, sentuhan rekayasa proses pascapanen sangat mendesak dilakukan guna mentransformasi sorgum menjadi produk turunan yang bernilai komersial tinggi

Sorgum manis (*Sorghum bicolor* L. Moench) tidak hanya berpotensi sebagai sumber karbohidrat, tetapi juga memiliki peluang yang besar untuk dikembangkan sebagai bahan baku pemanis alami. Batang tanaman sorgum mengandung nira dengan kadar gula yang relatif tinggi sehingga dapat diolah menjadi berbagai produk pemanis, seperti gula cair dan gula kristal. Pemanfaatan nira sorgum sebagai sumber gula alternatif menjadi pilihan yang menjanjikan karena didukung oleh ketersediaan bahan baku yang cukup melimpah serta teknologi pengolahannya yang relatif mudah diterapkan. Selain itu, tingginya kandungan padatan terlarut dalam nira sorgum berkontribusi terhadap kemampuan menghasilkan produk gula dengan tingkat kemanisan yang baik. Dengan karakteristik tersebut, gula sorgum memiliki prospek

yang luas untuk dimanfaatkan sebagai pemanis alami pada berbagai jenis produk pangan olahan.

Pengolahan gula cair dari nira sorgum secara tradisional umumnya dilakukan melalui pemanasan langsung menggunakan wadah terbuka hingga terjadi penguapan air dan peningkatan konsentrasi gula, namun metode ini memiliki keterbatasan dalam pengendalian suhu sehingga berpotensi menyebabkan kerusakan komponen gula dan pembentukan warna gelap akibat reaksi pencoklatan. Seiring perkembangan teknologi, proses pemekatan nira sorgum mulai dilakukan menggunakan evaporator konvensional yang memungkinkan pengaturan suhu dan waktu pemanasan secara lebih terkendali, sehingga efisiensi evaporasi dan mutu gula cair dapat ditingkatkan. Lebih lanjut, penerapan teknologi evaporasi vakum (*vacuum evaporator*) menjadi alternatif yang lebih unggul karena proses penguapan dapat berlangsung pada suhu lebih rendah akibat penurunan tekanan, sehingga mampu meminimalkan degradasi gula, reaksi Maillard, serta karamelisasi yang berlebihan yang sejalan dengan tujuan dari *vacuum evaporator* ialah untuk melakukan proses pemekatan bahan cair melalui penguapan air pada kondisi tekanan rendah sehingga titik didih air menurun. Dengan demikian, proses evaporasi dapat berlangsung pada suhu yang lebih rendah dibandingkan evaporasi konvensional. Penggunaan kondisi vakum ini bertujuan untuk mempertahankan kualitas bahan yang sensitif terhadap panas, meminimalkan kerusakan nutrisi, menghambat reaksi pencoklatan non-enzimatis seperti reaksi Maillard dan karamelisasi, serta menghasilkan produk dengan karakteristik fisik dan kimia yang lebih baik. Dengan demikian, peralihan dari pengolahan tradisional menuju penggunaan evaporator dan evaporator vakum menunjukkan peran penting teknologi

dalam meningkatkan kualitas fisik, kimia, dan sensori gula cair sorgum sekaligus memperbaiki efisiensi proses pengolahannya (Fitriyono, 2008)

Nira sorgum memiliki kandungan gula yang tinggi seperti nira tebu, tetapi terdapat perbedaan dimana kadar gula invert seperti glukosa dan fruktosa pada nira sorgum jauh lebih tinggi dibandingkan dengan nira tebu (Direktorat Jenderal Perkebunan, 1996), sehingga nira sorgum merupakan salah satu alternatif nira yang dapat digunakan sebagai bahan pembuatan gula cair. Tingginya gula reduksi dalam nira sorgum menjadi keunggulan pembuatan gula cair, karena tahap inversi sukrosa yang umumnya diperlukan dalam pembuatan gula cair secara alami sudah terpenuhi. Sebelumnya, sirup gula diproduksi dengan melarutkan kristal gula ke dalam air. Proses ini membutuhkan energi dalam jumlah besar serta biaya untuk proses kristalisasi, sentrifugasi, dan pengenceran. Untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi, proses tersebut dapat digantikan dengan proses penguapan. Proses ini mendukung produksi gula yang mengurangi jumlah energi yang digunakan (Bantacut & Novitasari, 2016). Penguapan vakum direkomendasikan karena dapat menurunkan titik didih air. Dengan demikian, kehilangan nutrisi reaksi pencoklatan dan penurunan rasa dapat diminimalkan (Farahnaky, dkk).

Proses evaporasi berperan penting dalam menentukan mutu gula cair, namun pengolahannya masih menghadapi beberapa permasalahan teknis, seperti degradasi gula akibat suhu evaporasi yang terlalu tinggi, terjadinya reaksi pencoklatan non-enzimatis (Maillard dan karamelisasi), serta peningkatan viskositas yang dapat menghambat perpindahan panas dan efisiensi penguapan. Selain itu, nira sorgum memiliki kandungan senyawa non-gula dan keasaman tertentu yang berpotensi

menyebabkan pembentukan Warna gelap yang terbentuk selama proses evaporasi terutama disebabkan oleh reaksi Maillard antara gula pereduksi dengan senyawa yang mengandung nitrogen serta reaksi karamelisasi akibat pemanasan yang berlangsung terus-menerus. Pembentukan pigmen coklat tersebut menyebabkan nilai kecerahan (lightness) produk menurun sehingga penampilan gula cair menjadi kurang menarik (Fitriyono, 2008). Selain itu, kandungan senyawa non-gula dan tingkat keasaman pada nira sorgum dapat memicu reaksi pencoklatan non-enzimatis selama evaporasi. Reaksi ini menghasilkan pigmen berwarna coklat gelap yang menyebabkan penurunan mutu visual produk. Tidak hanya memengaruhi warna, pembentukan senyawa hasil pencoklatan juga dapat menimbulkan aroma dan rasa yang kurang diinginkan sehingga menurunkan kualitas sensori gula cair sorgum.

Oleh karena itu, pengaturan parameter proses seperti suhu, waktu evaporasi, dan sistem pengadukan menjadi faktor krusial dalam pengolahan gula cair sorgum agar diperoleh produk dengan karakteristik fisik dan kimia yang stabil serta memenuhi standar mutu.

Gula cair yang dihasilkan dari nira sorgum memiliki beberapa kelemahan yang berkaitan dengan karakteristik bahan baku dan proses pemekatan menggunakan evaporator. Selama proses evaporasi, penerapan suhu tinggi dalam waktu yang relatif lama dapat menyebabkan terjadinya reaksi pencoklatan non-enzimatis seperti reaksi Maillard dan karamelisasi, yang berdampak pada perubahan warna menjadi lebih gelap serta penurunan mutu gula cair. Selain itu, kandungan senyawa non-gula dan mineral dalam nira sorgum cenderung lebih tinggi dibandingkan nira tebu, sehingga meningkatkan risiko pembentukan endapan dan mempercepat terjadinya degradasi

kualitas selama pemanasan. Oleh karena itu, pengendalian kondisi evaporasi dalam kondisi vakum dengan mengatur suhu dan pengaduk menjadi aspek penting untuk meminimalkan kelemahan gula cair sorgum dan mempertahankan karakteristik fisik serta kimianya (Fitriyono, 2008)

Menurut Yuwono, dkk (2020), Proses pemekatan sorgum pada evaporator memiliki pengaruh nyata terhadap karakteristik gula cair atau sirup yang dihasilkan. Suhu evaporasi juga mempercepat degradasi sukrosa menjadi gula pereduksi sehingga memengaruhi kestabilan gula dan warna produk akhir. Selain itu, dengan adanya agitasi dengan kecepatan tertentu selama proses pemekatan memberikan efek terhadap pemerataan panas dan perpindahan massa, yang pada akhirnya mempengaruhi nilai total padatan terlarut, kandungan gula pereduksi, serta warna produk. Ketiga parameter tersebut merupakan indikator utama untuk mengevaluasi mutu akhir gula cair sorgum. Total Padatan Terlarut (TPT) menunjukkan tingkat konsentrasi padatan (terutama gula) yang nilainya akan meningkat seiring dengan menguapnya air akibat pemanasan. Kandungan gula pereduksi merepresentasikan persentase sukrosa yang terhidrolisis (terdegradasi) menjadi glukosa dan fruktosa akibat paparan panas, dimana Peningkatan suhu selama proses evaporasi dapat mempercepat reaksi hidrolisis sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa yang termasuk kelompok gula pereduksi. Pada kondisi suhu tinggi, ikatan glikosidik pada molekul sukrosa menjadi lebih mudah terpecah sehingga jumlah gula pereduksi meningkat. Semakin tinggi suhu dan semakin lama waktu pemanasan, maka semakin besar kemungkinan terjadinya inversi sukrosa. Peningkatan gula pereduksi ini selanjutnya dapat mempercepat terjadinya reaksi Maillard yang berpengaruh terhadap perubahan warna, aroma, dan karakteristik kimia

gula cair yang dihasilkan. Sementara itu, warna produk menjadi indikator visual terjadinya reaksi pencoklatan termal (seperti karamelisasi dan reaksi Maillard), yang intensitasnya sangat dikendalikan oleh suhu evaporasi dan akumulasi gula pereduksi di dalam nira.

Oleh karena itu, berdasarkan uraian diatas, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik gula cair sorgum dengan adanya variasi suhu dan kecepatan pengaduk pada *vacuum evaporator*, dan sebagai sumber pemanis alternatif.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka identifikasi masalah dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi suhu terhadap karakteristik gula cair sorgum pada *vacuum evaporator* ?
2. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan pengaduk terhadap karakteristik gula cair sorgum pada *vacuum evaporator* ?
3. Bagaimana interaksi variasi suhu dan kecepatan pengaduk terhadap karakteristik gula cair sorgum pada *vacuum evaporator* ?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini untuk meneliti karakteristik gula cair sorgum dengan variasi suhu dan kecepatan pengadukan pada *vacuum evaporator*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh variasi suhu dan kecepatan pengadukan terhadap karakteristik gula cair sorgum.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Menjadi sarana pengaplikasian keilmuan Teknologi Pangan untuk meningkatkan keterampilan teknis secara langsung dalam mengoperasikan *vacuum evaporator*.
2. Memberikan literatur ilmiah dan rujukan empiris yang terbaru terkait inovasi pengolahan komoditas lokal nira sorgum.
3. Menyediakan alternatif sumber pemanis baru yang fungsional guna mendukung program diversifikasi pangan dan membantu menekan tingginya angka impor gula nasional.

1.5 Kerangka Pemikiran

Dalam penelitian Aghata (2018), menunjukkan bahwa suhu evaporasi memiliki efek signifikan terhadap komposisi dan karakteristik fisikokimia gula cair yang dihasilkan.. Suhu yang lebih tinggi umumnya meningkatkan °Brix dan padatan terlarut tetapi juga memengaruhi viskositas serta sifat organoleptik produk (warna, aroma, rasa). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan suhu evaporasi dapat meningkatkan konsentrasi larutan gula cair namun juga mengubah karakter kualitas produk akhir. Gula cair dari *Sorghum bicolor* yang diproses dengan vacuum evaporator mengamati perubahan nilai viskositas, °Brix, warna (L, a, b), turbiditas, gula reduksi (*reducing sugars*), serta sejumlah parameter organoleptik sebagai respons terhadap kombinasi suhu (60–80 °C) dan waktu evaporasi. Hasilnya menunjukkan bahwa perubahan suhu dan durasi evaporasi menghasilkan variasi komposisi fisikokimia yang signifikan dalam larutan gula, yang mengindikasikan korelasi langsung antara kondisi operasi evaporator vakum dan sifat akhir gula cair.

Studi yang dilakukan oleh (Sukoyo. A, dkk. 2014) menunjukkan bahwa pengolahan gula kelapa cair dengan metode vakum juga memengaruhi sifat fisikokimia larutan gula. Variasi suhu pemasakan dan derajat °Brix memengaruhi viskositas, total padatan terlarut (°Brix), serta parameter warna (L , a , b), walaupun perubahan viskositas secara statistik dalam penelitian ini tidak signifikan terhadap variasi suhu, tetapi derajat °Brix memiliki dampak nyata terhadap viskositas gula kelapa cair. Ini menunjukkan bahwa proses pemekatan (termasuk yang menggunakan vakum) berhubungan dengan perubahan fisik larutan gula yang ditentukan oleh konsentrasi dan karakter penguapan air.

Kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap karakteristik fisik dan kualitas produk gula cair maupun gula padat yang diolah. Dalam penelitian tentang gula merah tebu yang dimasak menggunakan evaporator vakum tipe vertikal, dipelajari variasi kecepatan pengadukan dan bersamaan dengan suhu pemasakan. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan pengadukan, kadar air dalam gula merah tebu cenderung lebih rendah, yang berdampak pada tekstur (kekerasan) produk yang lebih baik. Selain itu, kecepatan pengadukan juga mempengaruhi distribusi panas dan homogenitas larutan gula saat proses pemekatan berlangsung pada kondisi vakum, sehingga berkontribusi pada kualitas akhir produk (Dewi, R. S, dkk. 2014).

Pada proses pemekatan nira sorgum menjadi gula cair menggunakan vacuum evaporator, pengaturan kecepatan pengaduk dilakukan melalui pengendalian frekuensi motor listrik (Hz). Frekuensi ini selanjutnya dikonversi menjadi kecepatan putar poros pengaduk dalam satuan rpm, karena karakteristik pengadukan dan intensitas gaya geser dalam fluida lebih tepat dianalisis berdasarkan kecepatan putar aktual pengaduk.

Kecepatan putar pengaduk yang dinyatakan dalam rpm menjadi parameter yang digunakan dalam proses pemekatan nira sorgum, karena berpengaruh terhadap pemerataan panas, perpindahan massa, dan karakteristik gula cair selama evaporasi pada tekanan vakum.

Proses evaporasi vakum terhadap larutan gula seperti jus tebu atau nira tidak hanya memekatkan larutan tetapi juga memicu berbagai perubahan kimia kompleks yang memengaruhi kualitas kimia produk akhir. Salah satu perubahan utama adalah reaksi Maillard, yakni reaksi antara gula pereduksi (glukosa dan fruktosa) dengan asam amino yang menghasilkan *melanoidins*. Dalam penelitian yang memonitor jus tebu yang dimurnikan melalui membran, ditemukan bahwa selama vakuum evaporasi terjadi isomerisasi glukosa dan fruktosa yang akan membentuk melanoidins yang mengubah warna dan komposisi kimia larutan. Perubahan ini bersifat sangat sensitif terhadap suhu operasi. Hal ini menunjukkan bahwa proses vacuum evaporator membawa perubahan komposisi gula dan produk reaksi kimia yang signifikan, termasuk pembentukan senyawa yang mempengaruhi warna dan potensi kualitas nutrisi gula cair (Han, M., dkk. 2025).

Vacuum evaporator secara signifikan memengaruhi komposisi kimia larutan gula atau produk kaya gula, termasuk kadar air, kadar gula terlarut, kadar abu, serta aktivitas komponen kimia spesifik. Misalnya, penelitian terhadap madu hutan Sumatra yang diproses dengan vacuum evaporator mencatat bahwa penurunan kadar air melalui pemekatan menyebabkan peningkatan derajat Brix (total gula terlarut) dan perubahan konduktivitas elektrik, sementara perubahan dalam intensitas warna dan aktivitas antioksidan tidak signifikan pada beberapa temperatur. Pengendalian panas ini juga

menunjukkan bahwa karakteristik fisikokimia seperti kadar air dan konduktivitas dapat dikendalikan secara signifikan oleh proses vacuum evaporation, yang penting untuk kualitas dan kestabilan gula cair atau produk terkait (Hidayat, dkk. 2021).

1.6 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan kerangka pemikiran, hipotesis yang dapat diformulasikan yaitu diduga bahwa:

- 1) Variasi suhu pada *vacuum evaporator* diduga dapat berpengaruh terhadap karakteristik gula cair sorgum.
- 2) Kecepatan pengaduk pada *vacuum evaporator* diduga dapat berpengaruh terhadap karakteristik gula cair sorgum.
- 3) Interaksi antara variasi suhu dan kecepatan pengaduk diduga dapat berpengaruh terhadap karakteristik gula cair sorgum.

1.7 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Sorgum Center Indonesia (SCI) Sein Farm Jl. Sekemala, Pasanggrahan, Kec. Ujung Berung, Kota Bandung, Jawa Barat 40617 dan di Laboratorium Teknologi Pangan Universitas Pasundan Jl. Dr. Setiabudi No.191, Kota Bandung yang akan dimulai Februari 2026 sampai dengan selesai.

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas tentang : (2.1) Sorgum, (2.2) Gula Cair (2.3) *Vacuum Evaporator*.

2.1 Sorgum

Sorgum (*Sorghum Bicolor L.*) merupakan tanaman pangan penting kelima setelah padi, gandum, jagung, dan barley. Sorgum menjadi makanan utama yang lebih dari 750 juta orang di daerah tropis setengah kering di Afrika, Asia dan Amerika Latin (Reddy, dkk. 2007). Tanaman sorgum manis (*Sorghum Bicolor L.*) terdiri dari akar, batang, daun, bunga, dan biji. Menurut Irwan, dkk (2023), akar sorgum manis berjenis serabut dan terdiri dari akar serabut, akar sekunder dan akar tunjang. Batang sorgum manis berbentuk silinder dengan ukuran diameter berkisar 0,5-5,0 cm dan tinggi berkisar 0,5-4,0 m, serta tidak bercabang. Daun sorgum manis berjumlah 7-40 helai yang memiliki Panjang berkisar 1 m dan lebar 10-15 cm. Bunga tanaman sorgum manis terletak didalam malai dan jumlahnya mencapai 1.500-4.000. Biji sorgum manis berwarna coklat muda, putih, atau krem. Tanaman sorgum manis dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tanaman sorgum manis (Sumber: Wijayanti, 2023)

Dibandingkan serealia lain, sorgum menonjol karena ketahanannya yang superior terhadap kekeringan (Sumarno & Karsono, 1996). Fleksibilitas tumbuhnya di berbagai kondisi iklim memungkinkan tanaman ini dimanfaatkan secara efektif untuk memulihkan produktivitas lahan-lahan marginal. Secara agronomis, budi daya sorgum sangat efisien karena berbiaya rendah, adaptif terhadap berbagai pola tanam, serta memiliki sistem ratun yang memungkinkan panen berkali-kali. Meskipun kapasitas dan kuantitas hasil ratun lebih rendah dari panen perdana, keberadaannya tetap berkontribusi signifikan terhadap peningkatan total produksi panen (Setyowati dkk., 2005).

Nama ilmiah sorgum adalah *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Menurut (USDA, 2017) Klasifikasi sorgum adalah sebagai berikut :

Kingdom : Plantae
 Subkingdom : Tracheobionta
 Superdivisi : Spermatophyta
 Divisi : Magnoliophyta

Kelas : Liliopsida/Monokotiledon
Ordo : poales
Genus : *Sorghum*
Spesies : *Sorghum bicolor* (L).

Secara historis, tanaman sorgum diyakini berasal dari wilayah timur laut Afrika, khususnya kawasan Ethiopia dan Sudan, di mana proses domestikasi tanaman ini telah terjadi sejak 5000 hingga 8000 tahun yang lalu. Dari benua Afrika, sorgum kemudian menyebar secara luas ke berbagai belahan dunia seperti India, Tiongkok, hingga benua Amerika melalui jalur perdagangan kuno (Dillon dkk., 2007). Di Indonesia sendiri, sorgum sebenarnya bukanlah tanaman yang benar-benar baru. Tanaman ini telah lama dikenal dan dibudidayakan secara tradisional oleh masyarakat lokal dengan berbagai nama daerah, seperti *cantel* di Jawa, *batari* di Sunda, *batar* di Nusa Tenggara Timur, dan *dele* di Solor (Pabendon dkk., 2012). Meskipun komoditas ini sempat terpinggirkan akibat fokus pemerintah pada komoditas padi sejak era Revolusi Hijau, sorgum kini kembali menjadi fokus pengembangan agrikultur nasional karena potensinya yang sangat besar.

Secara garis besar, budi daya tanaman sorgum dapat diklasifikasikan ke dalam empat tipe utama berdasarkan tujuan pemanfaatannya. Pertama, sorgum biji (*grain sorghum*) yang secara khusus dibudidayakan untuk dipanen bijinya sebagai sumber karbohidrat pangan maupun pakan ternak. Kedua, sorgum manis (*sweet sorghum*) yang memiliki ciri khas berupa batang yang tebal dan kaya akan nira manis, sehingga

difokuskan untuk ekstraksi produksi gula cair, sirup, dan bioetanol. Ketiga, sorgum hijauan yang ditanam dengan tujuan utama untuk dimanfaatkan bagian daun dan batangnya sebagai hijauan pakan ternak ruminansia. Keempat, sorgum sapu (broomcorn) yang malainya berukuran panjang dan kaku, yang secara tradisional banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan sapu atau alat pembersih (Rooney & Waniska, 2000).

Tanaman sorgum dikenal luas dalam dunia pertanian global sebagai komoditas yang bersifat multiguna. Keistimewaan utama sorgum terletak pada kemampuannya untuk menyediakan tiga kebutuhan dasar sekaligus, yaitu sebagai sumber pangan (*food*), pakan ternak (*feed*), dan energi alternatif (*fuel*), tanpa harus saling bersaing dalam pemanfaatannya. Konsep pertanian tanpa limbah (*zero waste*) sangat relevan dan mudah diaplikasikan pada tanaman ini, di mana seluruh bagian anatomi tanaman mulai dari biji, batang, daun, hingga sisa ekstraksi memiliki nilai ekonomi dan fungsional yang saling melengkapi (Pabendon dkk., 2012; Suarni & Firmansyah, 2013). Integrasi ketiga sektor ini menjadikan sorgum sebagai salah satu komoditas paling strategis untuk menghadapi tantangan krisis global di masa depan.

Dalam sektor pangan (*food*), sorgum menawarkan diversifikasi sumber karbohidrat dan pemanis yang sangat potensial untuk mengurangi ketergantungan pada bahan baku konvensional impor. Bagian malai menghasilkan biji yang dapat dikonsumsi langsung layaknya beras atau disosoh menjadi tepung bebas gluten yang kaya akan serat, protein, dan senyawa antioksidan. Sementara itu, pada varietas sorgum manis, bagian batangnya menyimpan cadangan nira dengan total padatan terlarut yang tinggi, menjadikannya bahan baku yang ideal untuk diproses menjadi

gula cair, sirup, hingga kecap. Pemanfaatan ganda dari biji dan nira ini memberikan kontribusi nyata dalam menjaga stabilitas pasokan pangan pokok dan alternatif pemanis, khususnya di tengah fluktuasi iklim yang mengancam komoditas tebu dan gandum (Almodares, 2009).

Sorgum juga menempati posisi yang sangat krusial sebagai sumber pakan (*feed*) berkualitas tinggi, baik untuk unggas maupun ternak ruminansia. Biji sorgum yang kualitasnya tidak memenuhi standar mutu pangan (*food grade*) dapat dimanfaatkan sebagai substitusi jagung dalam formulasi ransum pakan unggas, mengingat profil asam amino dan nilai energi metabolismenya yang hampir setara (Setyono dkk., 2010). Lebih dari itu, bagian vegetatif tanaman seperti daun, pucuk, dan ampas batang (*bagasse*) sisa ekstraksi nira merupakan sumber hijauan segar maupun bahan silase yang sangat disukai oleh sapi, kambing, dan domba. Kandungan serat kasar dan tingkat pencernaan biomasa sorgum yang cukup tinggi dinilai sangat efektif untuk meningkatkan bobot badan ternak sekaligus menjamin ketersediaan hijauan pakan pada puncak musim kemarau panjang (Sirappa, 2003).

Potensi terbesar sorgum yang saat ini mendapat perhatian masif di berbagai negara maju bahkan peranannya dalam sektor energi terbarukan (*fuel*), khususnya sebagai bahan baku produksi bioetanol. Nira segar dari batang sorgum manis mengandung gula sederhana (glukosa, fruktosa, dan sukrosa) yang dapat difermentasi secara langsung oleh khamir (*Saccharomyces cerevisiae*) menjadi bioetanol dengan tingkat rendemen yang tinggi. Proses ini dinilai jauh lebih efisien dan hemat biaya dibandingkan produksi etanol dari singkong atau jagung, karena pengolahan nira sorgum tidak memerlukan proses hidrolisis atau sakarifikasi pati di tahap awal (Mathur

dkk., 2017). Keunggulan penggunaan nira sorgum sebagai sumber energi hayati adalah sifatnya yang tidak mengancam ketahanan pangan, mengingat bijinya tetap dapat dipanen secara terpisah untuk konsumsi manusia.

Selain dikonversi menjadi bahan bakar cair berupa bioetanol, residu padat dari pengolahan sorgum juga memiliki nilai kalori yang tinggi sebagai sumber energi biomassa alternatif. Ampas batang (*bagasse*) yang tersisa setelah proses pemerahan nira dapat dimanfaatkan langsung sebagai bahan bakar boiler di pabrik pengolahan gula cair untuk menghemat biaya operasional pemanasan evaporator. Selain itu, biomassa ini juga dapat dipadatkan dan dicetak menjadi briket bioarang berkualitas tinggi untuk memenuhi kebutuhan energi rumah tangga maupun industri skala mikro (Bantacut, 2013). Optimalisasi pemanfaatan komoditas sorgum yang mensinergikan aspek pangan, pakan, dan energi ini menjadikannya bukan sekadar solusi ketahanan pangan lokal, melainkan juga pilar utama dalam mewujudkan ketahanan energi nasional berbasis pertanian berkelanjutan (*sustainable agriculture*).

Sorgum manis dapat tumbuh di dataran rendah hingga dataran tinggi sampai 1.500m di atas permukaan laut di daerah tropis atau subtropis. Kondisi optimum tanaman sorgum manis untuk tumbuh yaitu pada suhu 20-30°C, kelembaban relatif berkisar 20-40%, serta curah hujan berkisar 400-600 mm. Menurut Siregar dan Mardiyah (2018), sorgum manis dapat bertahan sepanjang musim kemarau karena bagian batang dan daun mengandung lapisan lilin, sehingga dapat mencegah hilangnya air. Menurut Puspitasari, dkk (2012), sorgum dapat dibudidayakan secara tumpangsari maupun monokultur dan dapat tumbuh kembali setelah dipangkas. Masa panen

tanaman sorgum manis relatif cepat dan dapat dipanen tiga hingga empat kali dalam setahun.

Sorgum manis dapat mengandung nira pada bagian batangnya yang dimanfaatkan sebagai bahan baku gula, sirup dan bioetanol. Bagian batang sorgum manis jika diekstraksi menghasilkan nira yang memiliki kadar air 73%, total padatan terlarut 19,7%, gula total 14,02-15,87%, sukrosa 9,76-11,931%, dan gula reduksi 3,089-5,12% (Cristina, dkk. 2018). Menurut Tanwar, dkk (2023), biji sorgum manis mengandung karbohidrat 70-80%, lemak 1-5%, protein 8,18%, serat pangan 19%, dan serat kasar 3%.

Menurut (Hamdani dkk, 1998) sorgum manis (*Sorghum bicolor L.*) dapat dijadikan sebagai sumber biomassa, bahan baku gula dan bioetanol, serta cukup potensial dikembangkan di Indonesia. Uji ketahanan beberapa varietas sorgum manis terhadap cekaman kekeringan menunjukkan, Sorgum manis bersifat multiguna, sebagai bahan pangan, pakan ternak maupun bahan baku industri, bahan pembuatan gula cair (sirup).

Nira adalah cairan yang keluar dari bunga kelapa atau pohon penghasil nira lain seperti aren, siwalan, dan sorgum. Umumnya cairan ini merupakan bahan baku untuk pembuatan gula. Pada beberapa jenis tanaman nira disimpan dalam akar, batang, bunga dan buah. Nira dalam tanaman dapat berbentuk sukrosa, glukosa atau fruktosa (Muchtadi, 2016). Jika menurut Safitri (2017), nira merupakan cairan bening yang diperoleh dari air tandan bunga tanaman dengan cara penyadapan atau penderesan. Nira memiliki rasa manis, berbau harum, dan tidak berwarna. Komposisi nira aren

umumnya terdiri dari karbohidrat, protein, lemak, dan air. Komposisi tersebut dipengaruhi oleh umur tanaman, kesehatan tanaman, keadaan tanah, serta iklim.

Nira sorgum merupakan produk yang memiliki keunggulan apabila dibandingkan dengan nira tebu. Keunggulannya terletak pada tingkat produktivitas dan ketahanan tanaman sorgum. Nira batang sorgum manis mengandung glukosa $\pm 70\%$. Kelebihan lain dari sorgum adalah tumbuhnya tunas baru dari tunggul batang yang telah dipanen dan menghasilkan anakan baru hingga dapat dipanen kembali atau tanaman ratun (Duncan, dkk. 1980). Tanaman sorgum dapat dipanen dua sampai tiga kali, termasuk tanaman primer dan ratunnya, sehingga dapat mensuplai bahan baku karbohidrat. Dengan memanfaatkan daya ratun yang tinggi maka budi daya sorgum menjadi lebih efisien karena dapat mengurangi biaya tenaga kerja dan waktu untuk tanam dan pengolahan tanah serta penggunaan benih dan energi.

Sorgum manis memiliki dapat menghasilkan jumlah nira yang lebih besar per batangnya, dan niranya memiliki total padatan terlarut yang lebih tinggi dibandingkan dengan tebu. Namun demikian, nira sorgum manis memiliki kadar gula pereduksi khususnya glukosa dan fruktosa yang tinggi, sehingga menjadi sulit untuk diproses menjadi gula kristal. Oleh karena itu, nira sorgum manis lebih prospektif untuk diolah menjadi gula cair. Walaupun demikian, nira segar sorgum manis memiliki kejernihan yang lebih rendah daripada nira tebu, serta masih mengandung komponen-komponen pengotor yang membuat warna nira sorgum menjadi tidak jernih.

2.2 Gula cair

Gula merupakan salah satu produk kebutuhan dasar bagi masyarakat Indonesia. Kebutuhan konsumsi gula pada tahun 2018 mencapai 3,2 juta ton sedangkan produksi hasil gula dalam negeri diperkirakan hanya mencapai 2,1 juta ton. Penurunan produksi gula dari tahun ke tahun terjadi dikarenakan berkurangnya lahan perkebunan tebu dimana pada tahun lalu terdapat 425.000 hektar luas lahan dan terjadi penurunan 5.000 hektar lahan pada tahun ini. Sehingga salah satu cara untuk mengatasi kebutuhan gula di Indonesia dapat dilakukan dengan pembuatan gula cair dari berbagai bahan baku yang mengandung pati, salah satunya tanaman sorgum.

Gula merupakan karbohidrat sederhana yang berfungsi sebagai sumber energi bagi tubuh (Sasongkowati, 2019). Gula memiliki bentuk yaitu kristal, balok, bubuk, dan cair. Umumnya gula yang dikonsumsi dan digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah gula yang tersusun dari sukrosa. Gula sukrosa dapat dihasilkan dari ekstrak tumbuhan seperti tebu, bit, kurma, kelapa, aren, dan stevia.

Menurut BPOM (2024) gula cair merupakan produk berupa cairan jernih yang mengandung sukrosa yang dihasilkan melalui proses pemekatan larutan dari tebu, bit gula, atau bahan sejenis lainnya. Ini sesuai dengan definisi yang Anda buat bahwa gula cair dihasilkan melalui proses pelarutan dan pemekatan larutan gula. Sementara itu, menurut Simpson dkk. (2022) gula cair, atau sering disebut sirup glukosa, merupakan larutan kaya glukosa dan maltosa yang diperoleh melalui proses hidrolisis pati. Berbeda dengan gula pasir yang dikategorikan sebagai disakarida, gula cair umumnya berupa monosakarida (glukosa) (Fitri, 2019). Tingkat konsentrasi glukosa dalam gula cair ini sangat pekat, dengan standar persentase berkisar antara 70%-80% (Varucha dkk., 2016). Gula cair yang beredar dipasaran harus memenuhi syarat mutu standar

yang telah ditetapkan oleh SNI 01-2978-1992. Syarat mutu gula cair dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Standar Mutu Sirup Gula diatur berdasarkan SNI 01-2978-1992

Keadaaan	Standar Mutu Gula
Bau	Tidak Berbau
Rasa	Manis
Warna	Tidak berwarna
Air (%b/b)	Maks 20
Abu (%)	Maks 1
Gula Pereduksi (%b/b)	Min 30
Pati	Tidak nyata
Cemaran Logam	
- Timbal (Pb) mg/kg	Maks 1,0
- Tembaga (Cu) mg/kg	Maks 10,0
- Seng (Zn) mg/kg	Maks 25,0
- (As), mg/kg	Maks 0,5
Cemaran Mikroba	
- <i>Total Plate Count</i>	Maks 5×10^2 koloni/g Maks 50 koloni/g
- Kapang	

Sumber: Badan Standardisasi Nasional (1992).

Gula cair adalah salah satu produk yang digunakan sebagai bahan pemanis makanan dan minuman yang berbentuk cairan, berwarna, tetapi memiliki rasa manis yang tinggi (Ariyanto, 2022). Gula cair atau sirup glukosa merupakan larutan kental golongan monosakarida yang diperoleh dari pati dengan cara hidrolisis dan menggunakan katalis asam atau enzim yang kemudian dimurnikan serta dikentalkan. Selain berbahan pati, gula cair juga dapat dibuat dari nira dengan proses yang lebih sederhana yaitu dipanaskan salah satunya dengan proses evaporasi. Didukung oleh (Nimalaratne, dkk. 2020) mengatakan bahwa gula cair tidak hanya berasal dari hasil hidrolisis pati, tetapi juga terdapat gula cair yang berasal dari hasil non hidrolisis pati yaitu *maple syrup*. *Maple syrup* diketahui diperoleh dari hasil pemekatan nira pohon

maple (*Acer saccharum*). Selama pemanasan nira dilakukan pengadukan secara terus menerus hingga didapatkan cairan pekat berwarna coklat kental dengan total padatan terlarut 65°Brix (Phetrit, dkk. 2020).

Menurut Lelya (2014), sirup atau gula cair aren dapat diproduksi menggunakan bahan baku berupa gula merah maupun nira segar. Pengolahan gula cair dari nira segar pada dasarnya menyerupai tahapan awal pembuatan gula merah cetak. Perbedaannya hanya terletak pada titik akhir pemanasan, proses pemanasan dihentikan sebelum cairan mengalami kristalisasi, tepatnya ketika nira telah mendidih hebat dan menghasilkan buih berwarna kuning kecokelatan yang terus mengembang serta meluap menyerupai struktur sarang lebah di permukaannya. Dalam sorgum, nira sorgum diekstrak secara mekanis dari batangnya, sehingga cairan yang dihasilkan turut membawa berbagai pengotor (*impurities*) biologis seperti pati (*starch*), protein, asam organik, dan sisa serat. Pemanasan suhu tinggi pada nira sorgum mentah akan menyebabkan penguapan kadar air dan gelatinisasi pati yang membuat cairan mengental menjadi bubur keruh, serta memicu reaksi *Maillard* dan karamelisasi berlebih yang menghasilkan rasa pahit, sepat, atau langu (Shishir & Chen, 2017).

Pada prinsipnya, pembuatan gula cair melibatkan proses evaporasi untuk menguapkan kandungan air hingga total padatan terlarut (Brix) meningkat pada kisaran 65–75%, tanpa mencapai tahap kristalisasi (Pontoh, 2013). Menurut Hartel (2001), penguapan pelarut (air) pada proses pembuatan sirup atau gula cair harus dikendalikan dan dihentikan secara presisi ketika larutan baru mencapai batas jenuh optimal, bukan lewat jenuh. Tanpa adanya kondisi supersaturasi, molekul-molekul padatan terlarut tidak memiliki gaya dorong (*driving force*) termodinamika yang cukup untuk

beraglomerasi membentuk *cluster* ataupun embrio kristal. Akibatnya, fenomena nukleasi primer maupun sekunder dapat dihindari sepenuhnya. Sebagai gantinya, parameter keberhasilan pembuatan gula cair diukur dari kestabilan fase cairnya, yang secara standar dipertahankan pada total padatan terlarut sekitar 65–75° Brix (Pontoh, 2013). Pada rentang konsentrasi ini, molekul air yang tersisa masih mampu menahan pergerakan molekul gula agar tidak saling mengikat membentuk kisi kristal. Lebih lanjut, pengendalian penguapan air agar tidak terjadi secara berlebihan (*overshooting*) menjadi sangat krusial; penerapan teknologi penguapan bersuhu dan bertekanan terkendali seperti *vacuum evaporator* dinilai paling efektif untuk menjaga stabilitas larutan agar tetap homogen, kental, dan tidak memicu pertumbuhan kristal (*crystal growth*) bahkan selama masa penyimpanan (Haryanti *et al.*, 2018).

Gula cair dapat larut secara instan dan homogen pada berbagai rentang suhu, termasuk dalam formulasi makanan dan minuman dingin, sehingga sangat efisien karena tidak membutuhkan tahap pemanasan atau pelarutan awal (Heryani, 2016). Secara nutrisi, gula cair non-rafinasi juga mempertahankan senyawa bioaktif, mineral bawaan, serta memiliki indeks glikemik yang relatif lebih rendah dibandingkan sirup glukosa komersial. Selain itu, keunggulan fisik gula cair meliputi kemudahan penakaran secara volumetrik dalam skala industri, tidak rentan terhadap risiko penggumpalan (*caking*) akibat kelembapan udara seperti yang sering terjadi pada gula bubuk, serta mampu memberikan perbaikan tekstur (*mouthfeel*) dan profil aroma karamel yang khas pada produk akhir (Victor, dkk. 2013). Meskipun memiliki kadar air yang lebih tinggi dari gula semut, umur simpan gula cair dapat dipertahankan dalam waktu yang lama tanpa penambahan pengawet sintetis asalkan proses pemekatannya

mencapai total padatan terlarut (*Brix*) minimal 65-70% untuk mencegah pertumbuhan mikrobial perusak (Pontoh, 2013).

Dalam hal karakteristik gula cair, terutama kadar airnya, ditentukan oleh lama pemanasan serta tingkat higroskopisitas terhadap kelembapan lingkungan (Ariyanto, 2022). Selain kadar air, total gula dalam produk ini juga dipengaruhi oleh interaksi antara waktu, suhu, dan pH. Proses evaporasi dan kondisi asam menyebabkan terjadinya hidrolisis sukrosa menjadi gula reduksi (glukosa dan fruktosa) yang memiliki gugus OH reaktif. Penting untuk mengontrol tingkat keasaman selama proses, karena pH yang tinggi diketahui dapat mendegradasi gula pereduksi, terutama komponen fruktosa, menjadi senyawa aldehida yang merubah komposisi kimia produk. Gula cair memerlukan pengendalian temperatur yang ketat selama proses pemekatannya guna mempertahankan stabilitas fisikokimia dan kualitas produk akhir. Penerapan penguapan pada temperatur rendah, dapat berfungsi untuk menguapkan pelarut air secara konstan tanpa memicu kerusakan termal. Penurunan tekanan pada sistem vakum memungkinkan titik didih nira turun hingga kisaran 50–70°C (Toledo, 2007). Selain itu, suhu rendah secara efektif menekan laju reaksi *Maillard* dan karamelisasi berlebih yang kerap menghasilkan warna gelap pekat dan rasa pahit (Fennema *et al.*, 2017).

Pemanfaatan gula cair dianggap lebih unggul dibandingkan gula cetak konvensional. Keunggulan tersebut mencakup stabilitas bentuk yang tidak mudah mengkristal akibat pengaruh komponen glukosa dan fruktosa, sedangkan gula cetak cenderung berbasis sukrosa untuk mencapai tekstur padat (Ratna dan Yulianti,

2015). Gula cair juga menawarkan kemudahan teknis berupa kelarutan yang lebih cepat dan kepraktisan dalam penanganan industri.

Hutami dkk. (2023) menyatakan bahwa gula cair dihasilkan melalui pemekatan nira tanpa kristalisasi, sehingga meminimalisir penggunaan energi. Sementara itu, gula cetak membutuhkan pemanasan lebih lanjut untuk mencapai fase padat melalui proses pendinginan dalam cetakan. Dari aspek mutu simpan, gula cetak cenderung tidak stabil dan berisiko meleleh setelah penyimpanan 2-4 minggu (Priatna dkk., 2017). Keunggulan kompetitif ditemukan pada gula cair yang mampu mempertahankan kualitasnya selama 3 bulan (Assah dan Indriaty, 2018), bahkan produk sirup glukosa secara umum memiliki umur simpan mencapai satu tahun.

2.3 Vacuum Evaporator

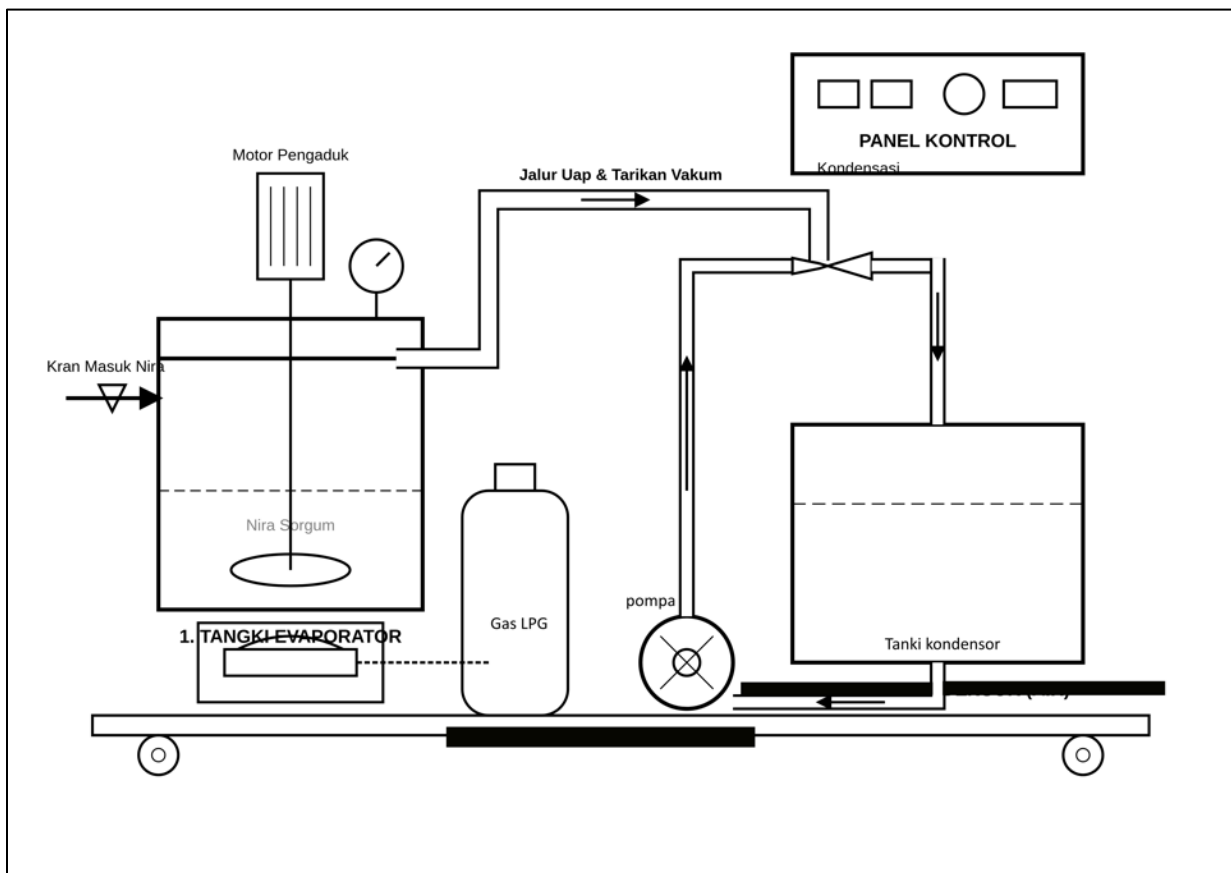
Vacuum evaporator merupakan alat yang digunakan untuk melaksanakan proses evaporasi secara terkontrol, baik dari sisi suhu, tekanan, maupun waktu proses. Dalam pengolahan hasil pertanian dan pangan, evaporator berfungsi untuk meningkatkan konsentrasi larutan sebelum tahap pengolahan lebih lanjut, memperkecil volume produk sehingga memudahkan penanganan dan penyimpanan, serta menurunkan aktivitas air yang dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme (Effendi, 2012). Proses ini banyak diterapkan pada pemekatan nira, sari buah, susu, dan larutan gula cair.



Gambar 2. Mesin *Vacuum Evaporator* BRIN.

Secara struktural, instrumen *vacuum evaporator* rancangan yang dibuat oleh Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) ini terdiri dari tiga subsistem utama yang saling terintegrasi: unit evaporasi, unit pencipta vakum, dan unit kondensasi. Unit evaporasi berpusat pada sebuah tangki utama (*evaporator vessel*) kedap udara yang berfungsi sebagai ruang pemanasan sampel cairan (nira). Tangki ini dilengkapi dengan sumber panas pada bagian dasar, pengaduk mekanis bermotor (*agitator*) untuk

mendistribusikan panas secara merata, serta indikator tekanan (*pressure gauge*) pada penutupnya. Ruang kosong (*headspace*) di dalam tangki utama tersebut dihubungkan langsung oleh sistem pemipaan uap (*vapor line*) menuju unit kondensasi.



Gambar 3. Skema alur proses mesin *Vacuum Evaporator* BRIN.

Sistem kevakuman pada alat ini digerakkan oleh sebuah pompa air sentrifugal yang secara kontinu mensirkulasikan air bersuhu rendah dari bak penampung (kondensor) melewati sebuah nosel ejektor. Penyempitan jalur pada nosel ejektor tersebut memicu terjadinya efek Venturi, yang menghasilkan tekanan negatif (daya hisap) untuk

menarik uap air dari tangki utama. Uap panas yang terhisap kemudian bercampur dan terkondensasi secara langsung bersama aliran air pendingin, lalu tertampung kembali di dalam tangki kondensor. Seluruh mekanisme mekanis dan kelistrikan pada mesin ini dioperasikan secara terpusat melalui sebuah panel kontrol.

Evaporator vakum merupakan teknologi pemekatan esensial dalam pengolahan bahan pangan cair yang sensitif terhadap panas, seperti nira sorgum. Sistem ini beroperasi menggunakan mekanisme pompa sirkulasi air (*water jet ejector*) yang memanfaatkan prinsip efek Venturi, di mana aliran fluida berkecepatan tinggi dipaksa melewati nosel sempit untuk menghasilkan daya hisap bertekanan rendah (kondisi vakum). Penurunan tekanan di dalam tangki utama ini secara termodinamika berdampak pada turunnya titik didih air jauh di bawah 100°C, sehingga proses penguapan pelarut dapat berlangsung secara efisien pada suhu rendah. Pengendalian suhu evaporasi ini sangat krusial untuk mencegah kerusakan termal pada komponen nutrisi, meminimalisir reaksi pencoklatan non-enzimatik seperti karamelisasi berlebih, serta mempertahankan mutu organoleptik dan kejernihan produk akhir gula cair (Fellows, 2017)

Dalam skala industri, perangkat evaporator umumnya dibedakan ke dalam beberapa kategori spesifik. Iskandar (2001) menyatakan bahwa dasar klasifikasi ini meliputi kondisi tekanan operasi (vakum atau atmosfer), tipe sirkulasi aliran fluida (konveksi alami atau buatan), sistem keberlanjutan proses (curah atau sinambung), serta jumlah efek yang digunakan (efek tunggal atau ganda).

Menurut Rizana (1997) evaporator dibuat dalam berbagai bentuk yang berbeda, salah satu diantaranya adalah *vacuum evaporator*. Bagian utama pada evaporator vakum terdiri dari badan evaporator, permukaan pemanasan (*Heat Exchanger*), kondensor dan penjemur uap air dan bagian pompa vakum.

Berdasarkan klasifikasi yang dikemukakan oleh Heldman dkk. (1992), terdapat beragam jenis evaporator yang digunakan dalam industri pengolahan. Tipe-tipe tersebut mencakup evaporator kalandria atau pipa pendek (*short-tube or calandria evaporator*), evaporator pipa panjang vertikal tipe *rising film* maupun *falling film*, evaporator sirkulasi paksa (*forced circulation evaporator*), tipe lapisan tipis tersapu atau teraduk (*wiped film/agitated thin-film evaporator*), evaporator pelat datar (*plate evaporator*), tipe sentrifugal atau kerucut (*centrifugal/conical evaporator*), hingga evaporator bersuhu rendah (*low-temperature evaporator*).

Evaporator bertekanan atmosfer merupakan bentuk desain yang paling sederhana, di mana bahan pangan dipanaskan secara langsung di dalam sebuah wadah penampung dan uap air yang terbentuk dibiarkan terlepas bebas ke lingkungan. Namun, metode ini memiliki kelemahan signifikan, yakni laju penguapan yang lambat serta tingkat efisiensi energi yang rendah. Lebih jauh lagi, mengingat karakteristik bahan pangan yang umumnya peka terhadap panas (*heat-sensitive*), paparan suhu tinggi dalam durasi yang panjang sangat berisiko memicu berbagai kerusakan pada mutu produk tersebut.

Pengolahan nira menjadi gula cair menggunakan metode pemanasan konvensional pada suhu tinggi memiliki risiko besar memicu reaksi karamelisasi dan reaksi Maillard yang tidak terkendali. Menurut Lutfi dkk. (2018), paparan panas yang

berlebih dapat mereduksi kandungan sukrosa secara signifikan. Oleh karena itu, Sabanci dan Icier (2017) menyatakan bahwa penerapan teknologi *vacuum evaporator* jauh lebih unggul karena memungkinkan proses penguapan air berlangsung pada temperatur rendah. Kondisi ini secara efektif mencegah penurunan kualitas dan kerusakan struktural pada bahan pangan yang sensitif terhadap panas.

Vacuum evaporator adalah jenis evaporator yang beroperasi pada tekanan lebih rendah dari tekanan atmosfer. Penurunan tekanan menyebabkan titik didih pelarut, khususnya air, menjadi lebih rendah sehingga proses penguapan dapat berlangsung pada suhu yang relatif rendah. Penggunaan vacuum evaporator sangat menguntungkan dalam pengolahan bahan pangan yang sensitif terhadap panas, karena dapat meminimalkan kerusakan komponen kimia seperti gula, protein, vitamin, serta mencegah terjadinya reaksi pencoklatan non-enzimatis yang berlebihan. Oleh karena itu, vacuum evaporator banyak digunakan dalam proses pemekatan gula cair, sirup, dan produk berbasis nira untuk mempertahankan mutu fisik dan kimia produk akhir (Geankoplis, 2003).

Vacuum evaporator bekerja pada tekanan di bawah tekanan atmosfer (*vacuum*) sehingga titik didih pelarut dapat diturunkan. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan daya simpan bahan, mengurangi resiko kerusakan dan menaikkan nilai ekonomis. Penggunaan suhu rendah disertai dengan vakum, akan menjaga nilai nutrisi produk tidak hilang (Supriatna, 2008 dalam Syakdani, dkk., 2019). Secara operasional, mekanisme kerja *vacuum evaporator* diawali dengan memasukkan cairan yang akan dikentalkan ke dalam tangki *stainless steel* berkapasitas ± 40 liter. Tangki utama ini dilengkapi dengan ruang pemanas di bagian bawahnya yang berisi air dan elemen

pemanas (*heater*). Perpindahan panas berlangsung melalui mekanisme konveksi, di mana energi panas dari air yang dididihkan oleh *heater* dihantarkan menuju dinding bejana *stainless steel*. Transfer panas ini memicu peningkatan suhu pada bahan cair di dalam bejana hingga mencapai titik didih dan mulai menguap. Selanjutnya, uap air yang terlepas dari cairan akan mengalir menuju unit kondensor untuk diubah kembali menjadi fase cair melalui proses kondensasi menggunakan sirkulasi air pendingin, lalu ditampung pada wadah terpisah. Siklus ini berlangsung secara kontinu sehingga kadar air pada bahan baku akan terus menyusut seiring berjalannya proses. Sementara itu, menurut Nazaruddin, dkk. (2018) prinsip kerja dari vacuum evaporator yang dimana nira sorgum akan dilakukan pemanasan dalam ruang vakum menggunakan media air, air tersebut dipanaskan menggunakan heater berada disekeliling ruang vakum tersebut. Panas dari air diteruskan ke nira sorgum melalui dinding vacuum evaporator.

Terdapat tiga komponen yang menjadi kontrol dari evaporator, suhu, tekanan dan rotasi sekrup. Proses evaporasi vakum bekerja dengan menjaga suhu dan tekanan pada tingkat rendah, sehingga air dapat menguap tanpa menyebabkan gula mengalami karamelisasi atau perubahan warna akibat panas berlebih (Nazaruddin, dkk. 2020). Tekanan vakum pada *vacuum evaporator* adalah kondisi vakum yang terjadi pada ruang penguapan yang dihasilkan dari operasi pompa vakum yang ada di bagian evaporator. Pengukuran tekanan vakum dilakukan dengan pengamatan *pressure-gauge* yang dipasang pada salah satu titik di ruang penguapan (Supriatna, 2008 dalam Syakdani, dkk., 2019). Pemanasan tidak hanya mengurangi kadar air tetapi juga mematikan mikroba yang dapat menyebabkan fermentasi. Namun, pemanasan yang terlalu tinggi dapat menurunkan kualitas gula cair nira aren (Priyadi dan Wiratmoko,

2017). Perlengkapan lain yang digunakan dalam operasi alat ini adalah termometer untuk mengukur suhu dan monovakumeter yang digunakan pada awal proses untuk membaca tekanan vakum dan selama proses untuk membaca tekanan uap.

2.4 Kecepatan Pengadukan

Pengadukan atau agitasi merupakan operasi mekanis yang bertujuan untuk menciptakan gerakan dan sirkulasi di dalam suatu fluida, sehingga menciptakan kondisi yang lebih homogen. Dalam hal proses evaporasi, fungsi utamanya adalah untuk meningkatkan laju perpindahan panas (heat transfer) dan perpindahan massa (mass transfer) dari cairan yang dipekatkan. Menurut Gaman (1994), mekanisme kerja evaporator dimulai dari panas yang dihasilkan alat pemindah panas, kemudian berpindah ke bahan atau larutan sehingga suhu larutan naik hingga mencapai titik didih. Artinya, tanpa pengadukan yang memadai, panas tidak terdistribusi secara merata sehingga terjadi stratifikasi suhu, di mana bagian bawah larutan yang dekat dengan sumber panas mengalami pemanasan berlebihan sementara bagian permukaan tetap lebih dingin. Kondisi ini tidak hanya menurunkan efisiensi penguapan, tetapi juga memicu degradasi termal dan reaksi pencoklatan non-enzimatis yang merusak mutu gula cair (Dewi dkk., 2014).

Agitasi meningkatkan laju perpindahan panas dan massa melalui beberapa cara. Pertama, aliran turbulen yang dihasilkan pengaduk mengurangi ketebalan lapisan film stagnan di dekat permukaan pemanas, sehingga koefisien perpindahan panas konveksi meningkat dan laju penguapan air menjadi lebih tinggi. Kedua, agitasi mencegah

terjadinya pemanasan lokal (*hot spot*) yang dapat menyebabkan karamelisasi berlebihan dan penurunan kecerahan produk. Fetty Wijaya dkk. (2023) juga membuktikan bahwa kombinasi tekanan vakum dan agitasi yang tepat mampu meningkatkan efisiensi termal hingga 54,20% pada pemekatan nira tebu.

Pada evaporasi nira aren, peningkatan kecepatan pengadukan dari 20 rpm menjadi 40 rpm selama 180 menit menurunkan kadar air produk dari 5,41% menjadi 1,27%. Hal ini menunjukkan bahwa pengadukan yang lebih intensif mempercepat penguapan air dan meningkatkan efisiensi pemekatan. Sukoyo dkk. (2014) dalam pengolahan gula kelapa cair dengan metode vakum juga menemukan bahwa derajat Brix dan suhu pemasakan berinteraksi dengan kecepatan pengadukan dalam memengaruhi viskositas, total padatan terlarut, dan warna produk. Dengan demikian, kecepatan pengadukan menjadi parameter operasi yang harus dikendalikan secara presisi, bukan hanya untuk mempercepat proses, tetapi juga untuk menjaga konsistensi mutu.

Pada proses evaporasi vakum, kondisi pengadukan di dalam tangki sangat menentukan kualitas dan efisiensi pemekatan. Ketika pengadukan berlangsung pada kecepatan yang terlalu rendah, distribusi panas menjadi tidak merata sehingga terbentuk daerah pemanasan lokal atau *hot spot* di sekitar sumber panas, sementara bagian lain larutan tetap lebih dingin. Kondisi ini menyebabkan penguapan air tidak seragam, pemekatan lokal yang berlebihan, serta percepatan reaksi Maillard dan karamelisasi yang menghasilkan warna gelap dan penurunan mutu produk (Fellows, 2017). Sebaliknya, pada kecepatan pengadukan optimal, aliran konveksi yang

terbentuk mampu mendistribusikan panas secara merata ke seluruh volume larutan, sehingga penguapan air berlangsung konsisten, homogenitas suhu terjaga, dan degradasi termal dapat diminimalkan. Namun, apabila kecepatan pengadukan ditingkatkan secara berlebihan, turbulensi yang timbul justru menyebabkan larutan gula yang semakin kental terlempar ke dinding dan permukaan atas tabung evaporator. Larutan yang menempel pada dinding panas tersebut kemudian mengalami pemanasan berlebih dan mengering, membentuk kerak (*fouling*) yang tidak hanya menurunkan efisiensi perpindahan panas tetapi juga memicu pembentukan senyawa berwarna gelap akibat karamelisasi dan reaksi Maillard (Geankoplis, 2003). Kerak yang terbentuk juga dapat menutupi permukaan pemanas, mengurangi laju evaporasi, dan pada akhirnya menurunkan rendemen serta kualitas gula cair yang dihasilkan.

Keterkaitan antara kecepatan pengadukan dan kualitas gula cair sangat erat. Dewi dkk. (2014) melaporkan bahwa pada pembuatan gula merah tebu dengan evaporator vakum, semakin optimal kecepatan pengadukan hingga batas tertentu, kadar air produk cenderung lebih rendah dan tekstur menjadi lebih baik. Pengadukan juga memengaruhi homogenitas larutan gula selama pemekatan, sehingga distribusi panas lebih merata dan reaksi Maillard dapat dikendalikan. Namun, perlu dicatat bahwa viskositas larutan meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi gula. Pada kondisi viskositas tinggi, pengadukan yang terlalu lambat menyebabkan ketidakhomogenan, sedangkan pengadukan yang terlalu cepat dapat menimbulkan vorteks, gesekan mekanis berlebih, dan bahkan degradasi komponen gula akibat gaya geser (Earle, 1982).

Dalam hal ini, titik optimum kecepatan pengadukan harus ditentukan untuk setiap proses evaporasi. Pengadukan yang terlalu rendah menyebabkan distribusi panas tidak merata. Sebaliknya, pengadukan yang terlalu tinggi dapat meningkatkan turbulensi yang tidak produktif, memerangkap gelembung udara, dan mempercepat degradasi gula.

METODE PENELITIAN

Pada bab ini membahas tentang : (3.1) Bahan dan Alat, (3.2) Metode Penelitian, (3.3) Prosedur Penelitian, (3.4) Jadwal Pelaksanaan Penelitian.

3.1 Bahan dan alat

Bahan yang digunakan pada pembuatan gula cair sorgum yaitu nira sorgum dari varietas (*Sorghum Bicolor L.*) dengan umur panen 90 hari dan berbentuk batang berwarna hijau sedikit kekuningan dan dagingnya berwarna putih dan gula cair sorgum. Selain itu, Bahan kimia untuk analisis meliputi aquades, tisu (tisu basah dan tisu kering), serta pelat putih kalibrasi. Untuk analisis kimia spesifik, digunakan larutan Pb-asetat setengah basa, larutan $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 10%, larutan Luff Schoorl (terdiri dari Natrium karbonat (Na_2CO_3) anhidrat, asam sitrat, dan tembaga (II) sulfat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)), larutan KI 20%, larutan H_2SO_4 25%, larutan HCl 25%, dan larutan NaOH 30%. Bahan untuk titrasi dan indikator meliputi larutan standar Natrium tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0,1 N, indikator amilum 1%, indikator fenolftalein (PP), serta standar EDTA untuk kalibrasi alat Dumas.

Instrumen utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi unit *vacuum evaporator* untuk proses pengolahan, penggiling tebu, timbangan analitik untuk pengukuran massa presisi, *hand refractometer*, *colorimeter* (atau *chromameter*), viskometer brookfield beserta *spindle* (nomor 61, 62, 63, atau 64). Peralatan pendukung laboratorium terdiri dari oven pengering, penangas air (*water bath*), pemanas listrik (*hot plate*), desikator, penjepit cawan (*tang*), pembakar Bunsen, dan alat gelas standar meliputi labu ukur (100 mL, 250 mL, 1000 mL), Erlenmeyer (500

mL), *beaker glass* (200 mL), gelas ukur 50 mL, pipet tetes, pipet volume, termometer, serta corong.

3.2 Metode Penelitian

Pelaksanaan penelitian dalam pembuatan produk Gula Cair Sorgum ini terbagi menjadi dua bagian, yaitu penelitian pendahuluan dan penelitian utama.

3.2.1 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan sebagai tahapan awal untuk menentukan taraf perlakuan yang akan digunakan pada penelitian utama. Tujuan dilakukannya penelitian pendahuluan ini yaitu untuk melakukan uji coba dan menetapkan rentang variabel suhu evaporasi (60,65,70,75,80,85,90°C) yang didasarkan pada penelitian Rahman dan Yuwono (2019) yang menggunakan suhu 60°C-90°C pada pengolahan nira sorgum sebagai bahan baku gula cair. Rentang suhu tersebut dinilai mampu memberikan pengaruh terhadap karakteristik fisik dan kimia nira tanpa menyebabkan kerusakan mutu yang berlebihan, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam penentuan suhu proses evaporasi pada penelitian ini. Selain itu, kecepatan pengaduk (*agitator*) (26,32,48,80 rpm) diambil berdasarkan pada fungsi pengadukan dalam proses evaporasi, yaitu untuk meningkatkan homogenitas suhu, memperbaiki perpindahan panas, serta mencegah terjadinya pengendapan dan pemekatan lokal pada bahan cair. Penelitian Soetedjo dan Suharto menyatakan bahwa kecepatan pengadukan merupakan salah satu faktor operasi yang mempengaruhi kualitas produk hasil evaporasi nira dan jika pengadukan dilakukan dengan kecepatan tinggi dan dikonfirmasi berdasarkan batas rentang kecepatan yang tersedia dan stabil pada *vacuum evaporator* BRIN yang digunakan dalam penelitian. Hasil penentuan titik

suhu dan kecepatan pengaduk dari tahap ini selanjutnya akan ditetapkan sebagai rancangan perlakuan baku dalam proses pemekatan nira sorgum.

3.2.2. Penelitian Utama

Penelitian utama bertujuan untuk mengaplikasikan taraf variabel suhu evaporasi dan kecepatan pengaduk (*agitator*) pada *vacuum evaporator* guna mendapatkan produk gula cair sorgum dengan karakteristik yang terbaik. Penelitian utama ini merupakan tindak lanjut dari hasil yang diperoleh pada penelitian pendahuluan. Adapun tahapan dalam penelitian utama ini meliputi penyusunan rancangan perlakuan, rancangan percobaan, rancangan analisis, serta rancangan respon.

3.2.3. Rancangan Perlakuan

Rancangan Perlakuan dalam penelitian ini terdiri dari dua faktor. Yaitu suhu (D) proses pemanasan nira sorgum terdiri dari tiga taraf, yaitu:

$$d1 = 60^{\circ}\text{C}$$

$$d2 = 70^{\circ}\text{C}$$

$$d3 = 80^{\circ}\text{C}$$

Kemudian yaitu kecepatan pengaduk selama proses agitasi (T) yang terdiri dari tiga taraf, yaitu :

$$t1 = 26 \text{ rpm}$$

$$t2 = 36 \text{ rpm}$$

$$t2 = 48 \text{ rpm}$$

Kombinasi perlakuan tersebut diulang sebanyak 2 kali, sehingga diperoleh 18 satuan percobaan.

3.2.4. Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang dilakukan pada penelitian kali ini adalah rancangan acak kelompok (RAK) dengan pola faktorial 3x3 dengan 2 kali pengulangan. Model rancangan penelitian dapat dilihat pada Tabel. dan *Lay Out* percobaan RAK faktorial 3x3 dengan 2 kali ulangan dapat dilihat pada Tabel 2 .

Tabel 2 Matriks Percobaan Rancangan Acak Kelompok dengan Pola Faktorial 3x3 dengan 2 kali Ulangan.

Kecepatan pengaduk (D)	Variasi suhu (T)	Kelompok	
		1	2
26 rpm (d1)	60°C (t1)	d1t1	d1t1
	70°C (t2)	d1t2	d1t2
	80°C (t3)	d1t3	d1t3
36 rpm (d2)	60°C (t1)	d2t1	d2t1
	70°C (t2)	d2t2	d2t2
	80°C (t3)	d2t3	d2t3
48 rpm (d3)	60°C (t1)	d3t1	d3t1
	70°C (t2)	d3t2	d3t2
	80°C (t3)	d3t3	d3t3

Total perlakuan dalam penelitian ini berdasarkan Tabel di atas yaitu sebanyak 9 perlakuan, dan tiap-tiap perlakuan akan dilakukan pengulangan sebanyak 2 kali ulangan, sehingga secara keseluruhan menghasilkan 18 kombinasi, yaitu 9x2 kombinasi perlakuan.

Untuk membuktikan adanya perbedaan pengaruh perlakuan dan interaksinya terhadap semua respon variabel yang diamati, maka dilakukan analisis data menggunakan model percobaan sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + K + Gi + Kj + (GK)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Keterangan :

i = 1,2 (banyaknya variasi suhu yaitu d1, d2, d3)

j = 1,2 (banyaknya variasi kecepatan pengaduk yaitu t1, t2)

k = 1,2 (banyaknya ulangan)

Y_{ijk} = Nilai pengamatan pada kelompok i, yang memperoleh taraf ke-i dari faktor variasi suhu, taraf ke-j dari faktor variasi kecepatan pengaduk ke-k

μ = Nilai rata-rata sebenarnya

G_i = Pengaruh perlakuan kecepatan pengaduk pada taraf ke-j faktor variasi suhu

K_j = Pengaruh perlakuan variasi suhu pada taraf ke-I faktor variasi kecepatan pengaduk

$(GK)_{ij}$ = Pengaruh interaksi antara taraf ke-I faktor variasi

suhu dan taraf ke-j kecepatan pengaduk

ε_{ijk} = Pengaruh galat percobaan

Tabel 3 Denah (Lay Out) Rancangan Percobaan.

Faktorial 3x3 Kelompok Ulangan 1

d1t1	d3t3	d2t1	d2t3	d3t2	d3t1	d2t2	d1t2	d1t3
------	------	------	------	------	------	------	------	------

Kelompok Ulangan 2

d1t1	d3t3	d3t1	d2t3	d1t2	d3t2	d2t1	d1t3	d2t2
------	------	------	------	------	------	------	------	------

3.2.5. Rancangan Analisis

Berdasarkan rancangan percobaan di atas, dapat dibuat analisis variasi (ANOVA) untuk mengetahui pengaruh variasi suhu dan kecepatan pengaduk terhadap karakteristik gula cair sorgum dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 4 Analisis Variasi (ANOVA).

Sumber Variasi	Db	JK	KT	F hitung	F tabel 5%
Kelompok	r-1	JKK	CTK		
Faktor G	g-1	JK(g)	KT(g)	KT(g)/KTG	
Faktor K	k-1	JK(k)	KT(k)	KT(k)/KTG	
Interaksi GK	(g-1)(k-1)	JK(gk)	KT(gk)	KT(gk)/KTG	
Galat	(r-1)(gk-1)	JKG	KTG		
Total	gkr-1	JKT			

(Sumber: Gasperz, 1995)

Berdasarkan percobaan diatas, untuk memudahkan pengujian maka dilanjutkan uji analisi variasi (ANAVA) dan selanjutnya ditentukan hipotesis, yaitu :

1. Jika $F_{hitung} \geq F_{tabel}$ pada taraf 5% maka perlakuan variasi suhu dan kecepatan pengaduk, serta interaksi variasi suhu dan kecepatan pengaduk berpengaruh terhadap karakteristik gula cair sorgum. Dengan demikian hipotesis diterima dan kemudian akan dilanjutkan uji lanjut Duncan.
2. Jika $F_{hitung} < F_{tabel}$ pada taraf 5% maka perlakuan variasi suhu dan kecepatan pengaduk, serta interaksi variasi suhu dan kecepatan pengaduk tidak berpengaruh terhadap karakteristik gula cair sorgum. Dengan demikian hipotesis penelitian ditolak.

3.2.6 Rancangan Respon

Rancangan respon yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya yaitu :

1. Respon Fisik

Pengujian respon fisik pada penelitian ini dilakukan dengan ulangan pengukuran sebanyak dua kali (*duplo*) untuk setiap sampel. Respon fisik yang diamati meliputi perhitungan total padatan terlarut (Bayu, dkk. 2017), uji warna $L^*a^*b^*$ (Cahyadi, dkk. 2014) serta viskositas (Amanda, dkk. 2022).

2. Respon Kimia

Respon kimia yang dilakukan dengan ulangan pengukuran sebanyak dua kali (*duplo*). Respon kimia yang dianalisis meliputi kadar air (AOAC, 2005), kadar gula total, kadar gula pereduksi, dan non-pereduksi menggunakan metode *luff schoorl* (SNI 01-2892-1992).

3. Respon Mikrobiologi

Respon mikrobiologi dilakukan dengan ulangan pengukuran sebanyak dua kali (duplo). Respon mikrobiologi yang dianalisis untuk mengetahui jumlah total mikroba metode Total Plate Count (TPC) (Fardiaz, 1992).

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Deskripsi Pembuatan Gula Cair Sorgum

3.3.1.1 Deskripsi Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan yang dilakukan yaitu analisis karakteristik awal bahan baku pada nira sorgum. Selain itu, pada tahap ini juga dilakukan orientasi penggunaan vacuum evaporator untuk menguji dan menetapkan titik variabel suhu evaporasi dan kecepatan pengaduk (agitator) sebelum digunakan pada proses pembuatan gula cair sorgum di penelitian utama.

3.3.1.2 Deskripsi Penelitian Utama

Berikut adalah tahapan proses pembuatan gula cair sorgum berdasarkan diagram alir penelitian:

1. Ekstraksi (Pengepresan)

Batang sorgum yang telah dipanen diekstraksi melalui proses pengepresan menggunakan alat pengepres. Proses perahan ini bertujuan untuk mengeluarkan cairan dari dalam batang, sehingga dihasilkan nira sorgum mentah sekaligus memisahkannya dari ampas batang sorgum (sisa perasan).

2. Penyaringan

Nira sorgum mentah hasil ekstraksi kemudian disaring menggunakan kain saring. Tujuan dilakukannya penyaringan yaitu untuk memisahkan nira dari kotoran kasar atau partikel sisa ampas yang masih terbawa, sehingga diperoleh nira bersih yang jernih dan siap untuk diolah ke tahap selanjutnya.

3. Penimbangan

Nira bersih yang telah disaring kemudian ditimbang menggunakan timbangan untuk mengetahui berat awal bahan baku sebelum dimasukkan ke dalam ruang pemanas.

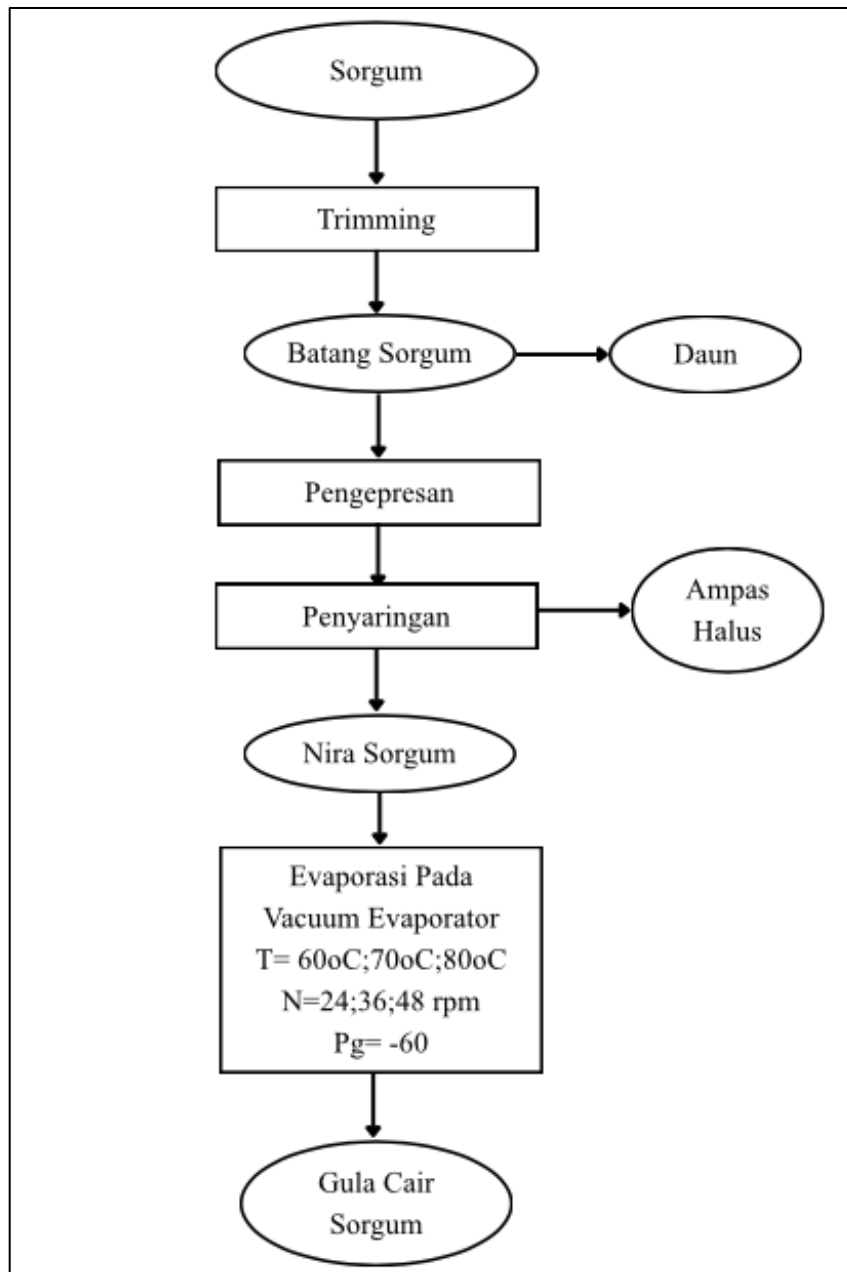
4. Evaporasi

Nira bersih dimasukkan ke dalam alat vacuum evaporator untuk melalui proses pemekatan. Pada proses ini, nira dipanaskan pada kondisi vakum (tekanan rendah) dengan menggunakan variasi suhu pemanasan (60°C, 70°C, dan 80°C) serta kecepatan pengaduk sesuai dengan rancangan perlakuan. Proses evaporasi vakum ini akan menarik uap air keluar dari nira pada suhu yang lebih rendah, sehingga mengentalkan nira menjadi gula cair sorgum tanpa merusak komponen gizi dan mencegah reaksi pencoklatan yang berlebihan.

5. Pengujian

Setelah proses evaporasi selesai dan diperoleh produk akhir berupa gula cair sorgum, selanjutnya akan dilakukan pengujian terhadap karakteristik produk tersebut. Pengujian ini meliputi respons fisik dan kimia (seperti total padatan terlarut/Brix,

warna, tingkat kekentalan/viskositas, atau kadar gula pereduksi) guna menentukan perlakuan terbaik dari variasi suhu dan kecepatan pengaduk yang digunakan.



Gambar 4. Diagram Alir Pembuatan Gula Sorgum Cair.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan menguraikan mengenai: (4.1) Penelitian Pendahuluan dan (4.2)

Penelitian Utama

4.1 Penelitian Pendahuluan

Pada penelitian pendahuluan dilakukan analisis terhadap bahan baku yaitu nira sorgum diantaranya yaitu Uji pH dan Total Padatan Terlarut, serta penetapan taraf perlakuan faktor suhu evaporasi dan kecepatan pengaduk.

Nira sorgum yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil ekstraksi batang sorgum ratun 1 yang didapatkan dari Sorgum Center Indonesia (SCI) Sein Farm Kota Bandung. Pengukuran pendahuluan dilakukan untuk mengetahui profil nira sorgum pada pembuatan gula cair sorgum. Parameter yang diukur diantaranya yaitu pH dan Total Padatan Terlarut.

Pengukuran derajat keasaman (pH) dilakukan untuk memvalidasi kesegaran nira sorgum, mengingat nira merupakan cairan yang sangat mudah mengalami fermentasi oleh mikroorganisme. Hasil analisis menunjukkan bahwa nira sorgum yang digunakan memiliki nilai pH sebesar 5,5. Nilai pH ini masih tergolong dalam kisaran yang aman dan belum menunjukkan adanya gejala fermentasi asam yang signifikan, yang biasanya ditandai dengan penurunan pH di bawah 5,0. Menurut Fennema (1996), intensitas reaksi pencoklatan non-enzimatis selama proses pemanasan sangat dipengaruhi oleh pH larutan. pH awal diukur untuk memvalidasi bahwa nira yang digunakan masih segar. Jika pH awalnya sudah turun terlalu jauh, misalnya di bawah

5, itu mengindikasikan bahan baku sudah mengalami fermentasi awal, yang akan sangat mempengaruhi kualitas gula cair. Pemanasan nira yang memiliki pH rendah secara terus-menerus dan akumulasi panas (*overheating*) akan mempercepat pembentukan senyawa melanoidin yang membuat gula cair menjadi berwarna gelap. Oleh karena itu, penggunaan variasi kecepatan pengadukan menjadi penting, guna mendistribusikan panas secara merata pada bahan.

Pengukuran total padatan terlarut (TPT) dilakukan untuk mengevaluasi kandungan gula awal dalam nira sorgum sekaligus sebagai dasar untuk menentukan efektivitas proses pemekatan. Berdasarkan hasil analisis, nira sorgum segar yang digunakan memiliki nilai total padatan terlarut awal sebesar 14 °Brix. Nilai ini berada dalam kisaran normal yang dilaporkan untuk nira sorgum manis, yang umumnya bervariasi antara 12 hingga 20 °Brix, tergantung pada varietas tanaman, kondisi agronomi, serta tingkat kematangan batang saat panen. Rendahnya nilai total padatan terlarut awal ini menegaskan bahwa nira sorgum masih didominasi oleh kandungan air dalam jumlah yang besar. Oleh karena itu, proses evaporasi dengan kondisi vakum menjadi sangat krusial untuk menguapkan sebagian besar air tersebut, sehingga konsentrasi padatan terlarut dapat ditingkatkan secara signifikan hingga mencapai standar mutu gula cair, khususnya pada parameter total padatan terlarut yang menjadi indikator utama keberhasilan proses pemekatan.

Pengukuran total padatan terlarut dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas proses pemekatan nira sorgum menjadi gula cair. Hasil analisis penelitian pendahuluan menunjukkan bahwa nira sorgum segar yang digunakan memiliki total padatan terlarut awal sebesar 14 °Brix. Nilai ini berada dalam kisaran normal nira sorgum manis yang

dilaporkan bervariasi antara 12–20 °Brix, tergantung varietas, kondisi agronomi, dan tingkat kemasakan batang (Hastuti & Widodo, 2019). Total padatan terlarut pada nira mewakili seluruh komponen larut air, terutama sukrosa (disakarida dominan) serta sejumlah kecil glukosa, fruktosa, mineral, dan asam organik. Rendahnya kadar TPT awal menegaskan bahwa nira mengandung air dalam jumlah besar sehingga memerlukan proses penguapan signifikan untuk mencapai konsentrasi sirup yang layak sebagai gula cair.

Selain karakterisasi awal nira, penelitian pendahuluan juga bertujuan untuk menetapkan taraf perlakuan yang akan digunakan pada penelitian utama melalui serangkaian uji coba operasional. Rentang suhu evaporasi yang direkomendasikan untuk pengolahan nira sorgum adalah 60–80 °C (Rahman & Yuwono, 2019), sedangkan rentang kecepatan pengaduk yang umum dipertimbangkan adalah 26–80 rpm. Namun, tidak seluruh rentang tersebut dapat diadopsi secara langsung karena keterbatasan karakteristik bahan dan kinerja alat vacuum evaporator milik BRIN yang digunakan dalam penelitian.

Pada uji coba suhu evaporasi, diketahui bahwa proses pada suhu 85 °C dan 90 °C menyebabkan nira mengalami pemanasan berlebih yang ditandai dengan perubahan warna menjadi cokelat tua secara cepat serta timbulnya aroma karamel yang menyimpang, yang mengindikasikan reaksi pencoklatan non-enzimatis dan degradasi gula yang berlebihan. Oleh karena itu, kedua suhu tersebut dinyatakan tidak layak untuk digunakan. Sebaliknya, suhu 60 °C masih mampu menghasilkan pemekatan meskipun laju penguapan air berlangsung lambat, sehingga tetap dipertahankan

sebagai batas bawah. Dengan demikian, ditetapkan tiga taraf suhu yang aman dan operasional, yaitu 60 °C, 70 °C, dan 80 °C, dengan 80 °C sebagai batas tertinggi yang masih mampu menjaga mutu produk.

Sementara itu, pada uji coba kecepatan pengaduk yang mengacu pada rentang 26–80 rpm, ditemukan bahwa kecepatan 26 rpm menghasilkan distribusi panas yang kurang merata, yang menyebabkan terjadinya pemekatan lokal dan mulai terbentuknya endapan di dasar evaporator. Kecepatan 36 rpm dan 48 rpm menunjukkan kinerja yang relatif stabil, namun untuk memperoleh tiga taraf yang seimbang dan merepresentasikan kondisi operasi terbaik, maka ditetapkan kecepatan 26 rpm, 36 rpm, dan 48 rpm, dengan 36 rpm sebagai titik tengah yang paling optimal berdasarkan homogenitas suhu dan stabilitas putaran pada alat yang digunakan.

Berdasarkan uji coba pendahuluan tersebut, maka untuk penelitian utama ditetapkan rancangan perlakuan faktorial 3×3, yaitu suhu evaporasi (60 °C, 70 °C, 80 °C) dan kecepatan pengaduk (26 rpm, 36 rpm, 48 rpm), yang dinilai mampu menghasilkan proses pemekatan nira sorgum secara efektif tanpa menimbulkan kerusakan mutu produk maupun kendala selama operasi.

4.1 Penelitian Utama

Hasil analisis penelitian utama yang dilakukan pada produk gula cair sorgum yaitu untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh variasi suhu evaporasi dan kecepatan pengaduk pada mesin *vacuum evaporator*, dimana gula cair sorgum dilakukan uji respon fisik meliputi analisis total padatan terlarut, uji warna $L^*a^*b^*$

serta viskositas. Respon kimia meliputi analisis kadar air, gula reduksi dan gula total. Respon mikrobiologi dilakukan pengujian *Total Plate Count (TPC)*.

4.2.1 Respon Fisik

Parameter fisik gula cair sorgum yang diamati dalam penelitian ini meliputi total padatan terlarut, warna ($L^*a^*b^*$), serta viskositas. Ketiga parameter tersebut merupakan indikator yang mencerminkan tingkat konsentrasi, kecerahan produk, dan kekentalan gula cair yang dihasilkan. Hasil pengukuran parameter fisik disajikan pada Tabel 5.

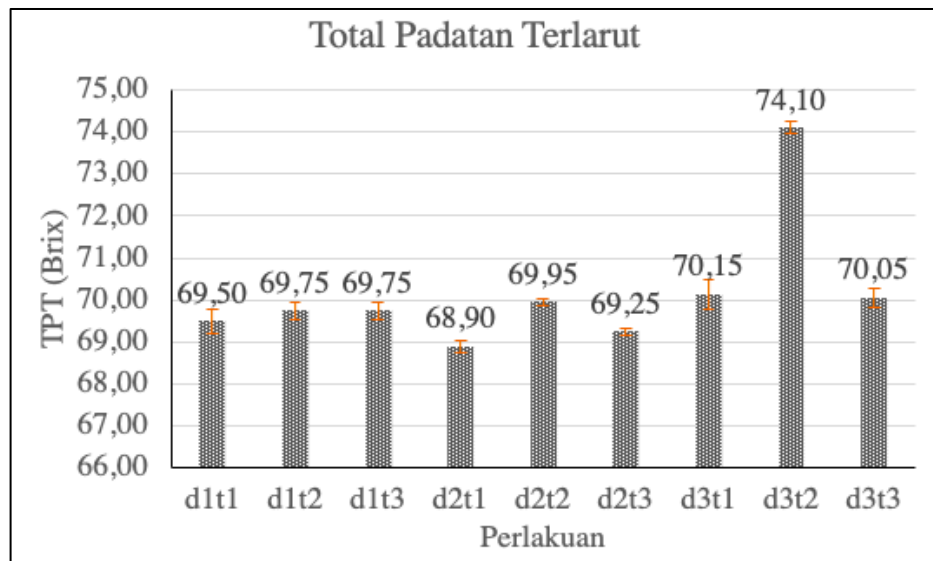
Tabel 5 Hasil Respon Fisik Gula Cair Sorgum.

Perlakuan	TPT (°Brix)	L*	a*	b*	Viskositas (cP)
60°C;26 rpm	69,50±	34,44±	3,31±	17,19±	312,5±
	0,28 ^b	0,02 ^g	0,01 ^d	0,01 ^f	7,8 ^a
60°C;36 rpm	69,75±	34,50±	3,39±	17,34±	282,0±
	0,21 ^b	0,03 ^g	0,01 ^e	0,02 ^g	9,9 ^a
60°C;48 rpm	69,75±	34,37±	3,26±	17,00 ^e	328,0±
	0,21 ^b	0,02 ^f	0,01 ^b		9,9 ^b
70°C;26 rpm	68,90±	33,67±	3,39±	16,82±	618,0±
	0,14 ^a	0,02 ^e	0,01 ^e	0,02 ^d	9,9 ^d
70°C;36 rpm	69,95±	33,73±	3,61±	16,99±	540,0±
	0,07 ^b	0,01 ^e	0,01 ^f	0,02 ^e	11,3 ^c
70°C;48 rpm	69,25±	33,57±	3,29±	16,54±	665,0±
	0,07 ^a	0,02 ^d	0,01 ^c	0,01 ^b	9,9 ^e
80°C;26 rpm	70,15±	32,97±	2,91±	16,54±	1107,5±
	0,35 ^c	0,02 ^b	0,01 ^a	0,02 ^a	17,7 ^h
80°C;36 rpm	74,10±	33,04±	2,96±	16,61±	995,0±
	0,14 ^d	0,02 ^c	0,01 ^b	0,01 ^c	12,7 ^f
80°C;48 rpm	70,05±	32,87±	2,91±	16,59±	1055,0±
	0,21 ^c	0,02 ^a	0,01 ^a	0,01 ^c	14,1 ^g

Ket: Huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$).

4.2.1.1 Total Padatan Terlarut (TPT)

Total padatan terlarut (TPT) merupakan indikator utama yang menunjukkan tingkat konsentrasi padatan dalam gula cair, terutama komponen gula. Berdasarkan hasil analisis statistik yang disajikan pada Gambar 5, nilai TPT gula cair sorgum berkisar antara 68,90 °Brix hingga 74,10 °Brix. Hasil uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa faktor suhu evaporasi (D), faktor kecepatan pengaduk (T), serta interaksi keduanya (DT) berpengaruh nyata terhadap total padatan terlarut gula cair sorgum.



Gambar 5. Bar Chart Total Padatan Terlarut Gula Cair Sorgum.

Peningkatan suhu evaporasi dari 60°C menjadi 80°C secara umum menyebabkan peningkatan nilai TPT gula cair sorgum. Fenomena ini terjadi karena semakin tinggi suhu evaporasi, semakin besar energi panas yang disuplai ke dalam sistem sehingga laju penguapan air dari nira sorgum meningkat secara signifikan. Ketika air menguap, padatan terlarut yang terdiri terutama dari gula (sukrosa, glukosa, dan fruktosa) serta mineral-mineral terlarut menjadi semakin terkonsentrasi dalam

volume larutan yang tersisa. Hal ini sejalan dengan prinsip dasar evaporasi yang menyatakan bahwa penguapan pelarut akan meningkatkan konsentrasi zat terlarut dalam larutan (Geankoplis, 2003). Secara termodinamika, peningkatan suhu evaporasi memperbesar tekanan uap air, sehingga lebih banyak molekul air yang memiliki energi kinetik cukup untuk lepas dari permukaan larutan dan berubah menjadi fase uap. Pada kondisi vakum yang diterapkan dalam penelitian ini, titik didih air dapat diturunkan sehingga penguapan air dapat berlangsung lebih efisien pada suhu yang relatif rendah, namun peningkatan suhu tetap berkorelasi positif dengan jumlah air yang dapat diuapkan dalam durasi waktu yang sama. Penelitian Aghata (2018) melaporkan bahwa perbedaan suhu evaporasi dan waktu evaporasi pada kondisi vakum memberikan pengaruh nyata terhadap total padatan terlarut gula cair sorgum, dengan perlakuan terbaik diperoleh pada evaporasi suhu 80°C selama 45 menit. Hasil tersebut sejalan dengan temuan penelitian ini, di mana perlakuan pada suhu 80°C, kecepatan pengaduk 36 rpm menghasilkan nilai TPT tertinggi yaitu 74,10 °Brix. Penelitian tersebut juga menegaskan bahwa peningkatan suhu dalam proses evaporasi meningkatkan konsentrasi gula atau kadar Brix yang diukur dalam persentase, sehingga menghasilkan sirup yang lebih pekat. Hal ini juga didukung oleh studi Sukoyo dkk. (2014) pada pengolahan gula kelapa cair dengan metode vakum, yang menunjukkan bahwa variasi suhu pemasakan dan derajat Brix memengaruhi total padatan terlarut produk akhir.

Kecepatan pengadukan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai TPT gula cair sorgum, dengan pola pengaruh yang berbeda pada setiap taraf suhu evaporasi. Pada suhu 80°C, pengadukan dengan kecepatan 36 rpm menghasilkan TPT

tertinggi (74,10 °Brix), sementara pada kecepatan 26 rpm menghasilkan 70,15 °Brix dan pada kecepatan 48 rpm menghasilkan 68,45 °Brix. Pengadukan dengan kecepatan optimal (36 rpm) diduga mampu mendistribusikan panas secara merata ke seluruh bagian nira selama proses evaporasi, sehingga proses penguapan air berlangsung lebih efisien dan merata di seluruh volume larutan. Agitasi yang baik mencegah terjadinya stratifikasi suhu dalam larutan, di mana bagian bawah larutan yang lebih dekat dengan sumber panas dapat mengalami pemanasan berlebihan sementara bagian permukaan tetap bersuhu lebih rendah. Pemerataan suhu ini memungkinkan proses penguapan air berlangsung secara konsisten di seluruh bagian larutan tanpa terjadi titik-titik panas lokal yang justru dapat menyebabkan penguapan tidak merata. Hal ini sesuai dengan pernyataan Yuwono dkk. (2020) bahwa agitasi dengan kecepatan tertentu selama proses pemekatan memberikan efek terhadap pemerataan panas dan perpindahan massa, yang pada akhirnya mempengaruhi nilai total padatan terlarut. Penelitian Dewi dkk. (2014) pada pembuatan gula merah tebu dengan evaporator vakum juga menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan mempengaruhi distribusi panas dan homogenitas larutan gula saat proses pemekatan berlangsung pada kondisi vakum, sehingga berkontribusi pada kualitas akhir produk. Namun demikian, perlu dicatat bahwa pengadukan yang terlalu cepat (48 rpm) justru menghasilkan nilai TPT yang lebih rendah, yang diduga disebabkan oleh meningkatnya turbulensi yang dapat menyebabkan penempelan gula cair pada dinding tangka mesin *Vacuum Evaporator*.

Interaksi antara suhu evaporasi dan kecepatan pengaduk berpengaruh nyata terhadap nilai TPT, yang ditunjukkan oleh perbedaan pola pengaruh kecepatan

pengaduk pada setiap taraf suhu yang diuji. Pada suhu rendah (60°C), perbedaan kecepatan pengaduk tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai TPT (69,50-69,75 °Brix), yang mengindikasikan bahwa pada suhu rendah, energi panas yang tersedia belum cukup untuk mendorong penguapan air secara intensif sehingga peran agitasi dalam pemerataan panas menjadi kurang kritis. Sebaliknya, pada suhu tinggi (80°C), pengaruh kecepatan pengaduk menjadi sangat signifikan, di mana perlakuan 36 rpm menghasilkan nilai TPT yang jauh lebih tinggi (74,10 °Brix) dibandingkan 26 rpm dan 48 rpm. Fenomena ini menunjukkan bahwa pada suhu tinggi, proses penguapan air berlangsung sangat intensif sehingga homogenitas suhu dan perpindahan massa menjadi faktor pembatas utama dalam efisiensi evaporasi. Interaksi positif antara suhu dan kecepatan pengaduk pada perlakuan suhu 80°C dan kecepatan pengaduk 36 rpm terjadi karena kondisi operasi tersebut berada pada titik optimal di mana suhu cukup tinggi untuk mendorong penguapan air secara efisien, sementara kecepatan pengaduk yang sedang (36 rpm) mampu mendistribusikan panas secara merata tanpa menimbulkan turbulensi berlebihan yang justru dapat menghambat proses penguapan. Perlakuan ini secara efektif menggabungkan keunggulan kedua faktor: suhu tinggi menyediakan energi panas yang cukup untuk menguapkan air, sementara agitasi optimal memastikan panas terdistribusi merata ke seluruh volume larutan. Kondisi ini sejalan dengan prinsip perpindahan panas dan massa dalam evaporator, di mana efisiensi evaporasi ditentukan oleh keseimbangan antara suplai energi panas dan kemampuan sistem untuk mentransfer energi tersebut secara merata ke seluruh bagian larutan (Fellows, 2017). Pada suhu 70°C, pengaruh kecepatan pengaduk juga terlihat signifikan, dengan TPT tertinggi diperoleh pada 36 rpm (69,95 °Brix) dan terendah

pada 26 rpm (68,90 °Brix), meskipun perbedaannya tidak sebesar pada suhu 80°C. Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu sedang, peran agitasi masih penting namun pengaruhnya tidak seekstrem pada suhu tinggi.

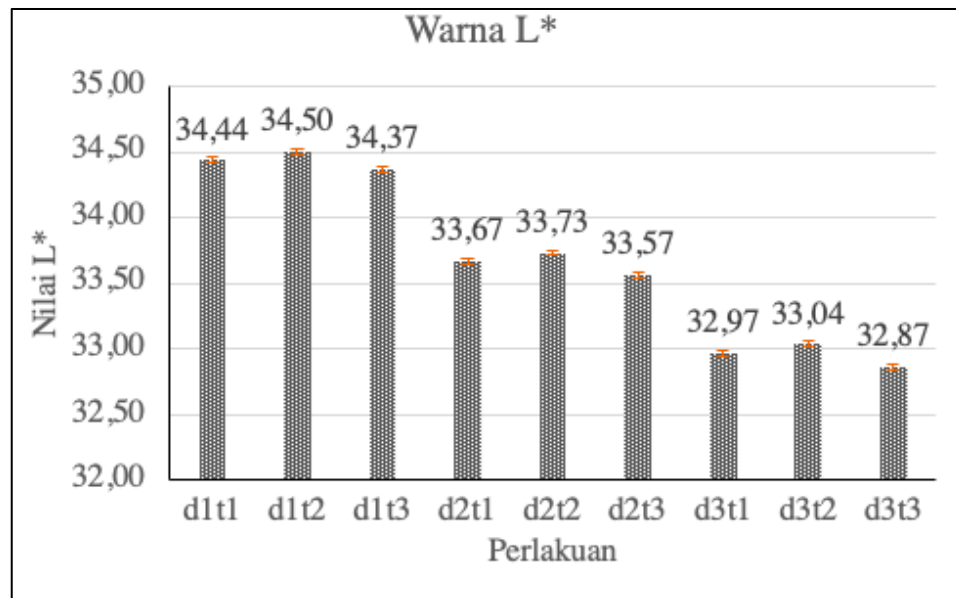
Nilai total padatan terlarut yang diperoleh pada seluruh perlakuan (68,45-74,10 °Brix) telah memenuhi standar mutu gula cair berdasarkan SNI 01-2978-1992 yang mensyaratkan total padatan terlarut minimal 65-75 °Brix. Secara keseluruhan, perlakuan suhu 80°C, kecepatan pengaduk 36 rpm) terbukti sebagai kombinasi perlakuan terbaik untuk menghasilkan gula cair sorgum dengan total padatan terlarut tertinggi (74,10 °Brix), yang berarti produk memiliki konsentrasi gula yang optimal dan kadar air yang rendah sehingga lebih stabil selama penyimpanan. Pencapaian nilai TPT yang tinggi ini juga mengindikasikan bahwa proses evaporasi vakum dengan pengendalian suhu dan agitasi yang tepat mampu menghasilkan gula cair dengan karakteristik yang setara atau bahkan lebih baik dibandingkan produk gula cair komersial dari bahan baku lainnya.

4.2.1.1 Uji Warna Colorimeter (L, a, b*)

4.2.1.1.1 Intensitas (L*)

Warna merupakan salah satu parameter mutu yang penting dalam gula cair karena mempengaruhi penerimaan konsumen secara visual dan menjadi indikator terjadinya reaksi pencoklatan selama proses pengolahan. Berdasarkan hasil analisis statistik yang disajikan pada gambar 6, diketahui bahwa faktor suhu evaporasi (D) dan faktor kecepatan pengaduk (T) berpengaruh nyata terhadap nilai kecerahan (L*) gula

cair sorgum . Pengukuran warna menggunakan sistem CIE $L^*a^*b^*$ yang terdiri dari nilai kecerahan (L^*), kemerahan (a^*), dan kekuningan (b^*). Nilai L^* menunjukkan tingkat kecerahan dari 0 (hitam) hingga 100 (putih), sehingga semakin tinggi nilai L^* maka produk semakin cerah, sedangkan semakin rendah nilai L^* mengindikasikan produk semakin gelap.



Gambar 6. Bar Chart Uji warna intensitas L^* Gula Cair Sorgum.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai L^* gula cair sorgum cenderung menurun secara signifikan seiring dengan peningkatan suhu evaporasi dari 60°C menjadi 80°C. Pada suhu 60°C (d1), nilai L^* berkisar antara 34,37-34,50 yang tergolong dalam notasi tertinggi (f dan g) berdasarkan uji Duncan, sedangkan pada suhu 80°C (d3), nilai L^* turun menjadi 32,87-33,04 yang termasuk dalam notasi terendah (a, b, dan c). Penurunan nilai L^* ini mengindikasikan bahwa warna gula cair menjadi lebih gelap pada suhu evaporasi yang lebih tinggi. Fenomena ini disebabkan oleh terjadinya reaksi Maillard dan karamelisasi selama proses pemanasan yang

semakin intensif seiring dengan peningkatan suhu. Reaksi Maillard merupakan reaksi antara gula pereduksi (glukosa dan fruktosa) dengan gugus amina dari asam amino atau protein yang terdapat dalam nira sorgum, menghasilkan senyawa melanoidin berwarna coklat hingga coklat gelap (Damodaran & Parkin, 2017). Sementara itu, karamelisasi terjadi ketika gula, terutama sukrosa dan gula pereduksi, dipanaskan pada suhu tinggi sehingga mengalami dehidrasi dan polimerisasi membentuk senyawa berwarna gelap yang dikenal sebagai karamel (Fennema et al., 2017). Kedua reaksi ini bersifat termal dan laju reaksinya meningkat secara eksponensial dengan kenaikan suhu, sehingga pada suhu 80°C intensitas pencoklatan jauh lebih tinggi dibandingkan pada suhu 60°C dan 70°C. Hal ini sejalan dengan penelitian Aghata (2018) yang melaporkan bahwa perbedaan suhu evaporasi memberikan pengaruh nyata terhadap nilai kecerahan L^* gula cair sorgum, di mana peningkatan suhu evaporasi menyebabkan penurunan nilai kecerahan produk. Penelitian tersebut juga menemukan bahwa perlakuan terbaik untuk gula cair sorgum diperoleh pada suhu evaporasi 80°C dengan waktu 45 menit, meskipun terjadi penurunan kecerahan yang masih dapat diterima. Lebih lanjut, Asikin dkk. (2023) dalam penelitiannya pada produk gula juga menemukan bahwa semakin tinggi suhu evaporasi, semakin rendah nilai L^* (kecerahan) yang mengindikasikan warna produk menjadi lebih gelap akibat akumulasi produk reaksi Maillard dan karamelisasi.

Penurunan nilai L^* yang signifikan pada suhu 80°C juga dipengaruhi oleh kandungan gula pereduksi yang tinggi dalam nira sorgum. Sebagaimana diketahui, nira sorgum memiliki kadar gula reduksi yang lebih tinggi dibandingkan nira tebu

(Direktorat Jenderal Perkebunan, 1996). Gula pereduksi seperti glukosa dan fruktosa lebih reaktif dalam reaksi Maillard dibandingkan sukrosa karena memiliki gugus karbonil bebas yang dapat bereaksi dengan gugus amina. Dengan demikian, tingginya kadar gula pereduksi dalam nira sorgum menyebabkan reaksi Maillard berlangsung lebih cepat dan intensif selama proses evaporasi, terutama pada suhu tinggi. Hal ini menjelaskan mengapa pada suhu 80°C terjadi penurunan kecerahan yang cukup drastis dibandingkan pada suhu 60°C dan 70°C.

Kecepatan pengadukan memberikan pengaruh yang bervariasi terhadap nilai L^* gula cair sorgum pada setiap taraf suhu yang diuji. Pada suhu 80°C, perlakuan dengan kecepatan pengaduk 36 rpm (d3t2) menghasilkan nilai L^* (33,04) yang sedikit lebih tinggi dibandingkan d3t1 (32,97) dan d3t3 (32,87), meskipun perbedaannya tidak terlalu besar secara statistik. Fenomena ini menunjukkan bahwa kecepatan pengaduk 36 rpm pada suhu tinggi dapat sedikit menghambat reaksi pencoklatan karena distribusi panas yang lebih merata ke seluruh bagian larutan. Pengadukan berperan penting dalam proses evaporasi karena mempengaruhi homogenitas suhu dan perpindahan panas dalam larutan. Tanpa pengadukan atau dengan pengadukan yang terlalu lambat (26 rpm), akan terjadi stratifikasi suhu di mana bagian bawah larutan yang lebih dekat dengan sumber panas mengalami pemanasan berlebihan (hot spot) sementara bagian permukaan masih bersuhu lebih rendah. Kondisi ini menyebabkan reaksi Maillard dan karamelisasi terjadi lebih intensif di area dengan suhu tinggi, menghasilkan produk pencoklatan lokal yang tidak merata dan menurunkan nilai L^* secara keseluruhan. Sebaliknya, pengadukan dengan kecepatan 36 rpm mampu mendistribusikan panas

secara lebih merata sehingga mencegah terjadinya pemanasan lokal yang berlebihan dan meminimalkan intensitas reaksi pencoklatan.

Namun demikian, pengadukan yang terlalu cepat (48 rpm) justru menghasilkan nilai L^* yang lebih rendah (32,87). Hal ini diduga disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, pengadukan yang terlalu cepat dapat meningkatkan turbulensi dan gesekan mekanis dalam larutan kental, yang menyebabkan konversi energi mekanis menjadi energi panas (gesekan) sehingga meningkatkan suhu lokal secara tidak terkendali. Kedua, pengadukan cepat dapat menyebabkan lebih banyak gelembung uap air terperangkap dalam larutan atau meningkatkan kontak antara larutan dengan permukaan dinding evaporator yang panas, yang dapat mempercepat reaksi pencoklatan. Ketiga, pengadukan yang terlalu cepat pada larutan kental dapat menyebabkan terbentuknya busa atau emulsifikasi yang justru menghambat proses penguapan dan meningkatkan waktu tinggal larutan pada suhu tinggi. Penelitian oleh Dewi dkk. (2014) pada pembuatan gula merah tebu dengan evaporator vakum juga menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan mempengaruhi distribusi panas dan homogenitas larutan gula saat proses pemekatan berlangsung pada kondisi vakum, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap kualitas akhir produk termasuk warna. Penelitian tersebut menemukan bahwa kecepatan pengadukan yang optimal dapat menghasilkan produk gula dengan warna yang lebih cerah dan seragam dibandingkan tanpa pengadukan atau pengadukan yang berlebihan.

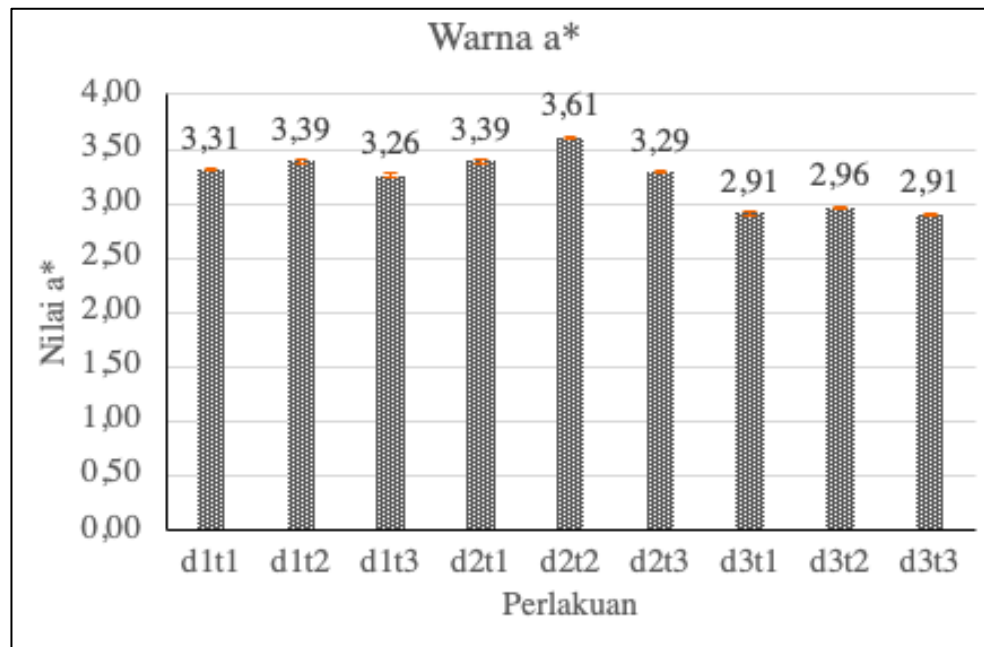
Interaksi antara suhu evaporasi dan kecepatan pengaduk menunjukkan bahwa pengaruh kecepatan pengaduk terhadap nilai L^* lebih terlihat pada suhu tinggi

dibandingkan suhu rendah. Pada suhu 60°C, nilai L^* antar perlakuan kecepatan pengaduk relatif sama (34,37-34,50) dan tidak menunjukkan perbedaan yang nyata secara statistik. Hal ini disebabkan karena pada suhu rendah, laju reaksi Maillard dan karamelisasi masih relatif lambat sehingga peran pengadukan dalam mendistribusikan panas menjadi kurang kritis. Energi panas yang tersedia belum cukup untuk mendorong reaksi pencoklatan secara intensif, sehingga meskipun terjadi ketidakmerataan suhu akibat pengadukan yang kurang optimal, dampaknya terhadap pembentukan warna gelap masih minimal. Sebaliknya, pada suhu 80°C, perbedaan kecepatan pengaduk memberikan pengaruh yang lebih nyata terhadap nilai L^* , meskipun perbedaannya tidak terlalu besar. Pada suhu tinggi, reaksi Maillard dan karamelisasi berlangsung sangat cepat dan intensif sehingga setiap ketidakmerataan suhu atau pemanasan lokal akan segera menghasilkan produk pencoklatan yang terlihat. Dalam kondisi ini, pengadukan dengan kecepatan optimal (36 rpm) menjadi sangat penting untuk memastikan panas terdistribusi secara merata dan mencegah terbentuknya area-area dengan suhu berlebihan yang akan memicu reaksi pencoklatan tidak terkendali. Interaksi antara suhu dan kecepatan pengaduk ini menunjukkan bahwa untuk menghasilkan gula cair dengan kecerahan yang optimal, perlu dipilih kombinasi perlakuan yang tepat. Meskipun suhu tinggi diperlukan untuk mencapai total padatan terlarut yang tinggi (seperti yang ditunjukkan pada perlakuan d3t2), namun perlu diimbangi dengan kecepatan pengaduk yang optimal untuk meminimalkan dampak negatif terhadap kecerahan produk. Perlakuan d3t2 (80°C, 36 rpm) terbukti mampu menghasilkan keseimbangan antara konsentrasi padatan terlarut yang tinggi (74,10 °Brix) dengan nilai kecerahan yang masih dapat diterima ($L^*=33,04$), menunjukkan

bahwa kombinasi ini merupakan perlakuan terbaik untuk menghasilkan gula cair sorgum dengan karakteristik optimal. Penurunan nilai L^* pada semua perlakuan juga mengindikasikan bahwa proses evaporasi vakum pada rentang suhu 60-80°C tetap menghasilkan produk dengan warna cokelat kekuningan, yang merupakan karakteristik khas gula cair dari nira sorgum. Menurut SNI 01-2978-1992, gula cair yang baik seharusnya memiliki warna kuning bening hingga cokelat muda. Warna cokelat kekuningan yang dihasilkan pada penelitian ini masih dalam kisaran yang dapat diterima untuk produk gula cair non-rafinasi dan bahkan memberikan karakteristik sensori yang khas yang disukai konsumen untuk aplikasi tertentu seperti bahan baku pembuatan kecap, sirup, atau produk bakeri. Reaksi Maillard yang terjadi selama proses evaporasi tidak hanya menghasilkan warna gelap tetapi juga berkontribusi pada pembentukan flavor khas karamel yang dapat meningkatkan penerimaan konsumen terhadap produk gula cair sorgum.

4.2.1.1.2. Intensitas (a^*)

Nilai a^* (kemerahan) merupakan salah satu parameter dalam sistem CIE $L^*a^*b^*$ yang menunjukkan kecenderungan warna merah (positif) atau hijau (negatif) pada suatu produk. Dalam penelitian ini, nilai a^* pada gula cair sorgum menunjukkan hasil positif yang berkisar antara 2,91 hingga 3,61, yang mengindikasikan bahwa produk memiliki kecenderungan warna merah. Berdasarkan hasil analisis statistik, faktor suhu evaporasi (D) dan faktor kecepatan pengaduk (T) berpengaruh nyata terhadap nilai a^* gula cair sorgum, sementara interaksi keduanya juga menunjukkan pengaruh yang signifikan.



Gambar 7. Bar Chart Uji warna intensitas a* Gula Cair Sorgum.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai a* gula cair sorgum cenderung menurun seiring dengan peningkatan suhu evaporasi. Pada suhu 60°C (d1), nilai a* berkisar antara 3,26 hingga 3,39 dengan notasi b, c, dan d berdasarkan uji Duncan, sedangkan pada suhu 70°C (d2) nilai a* berkisar antara 3,29 hingga 3,61, dan pada suhu 80°C (d3) nilai a* turun menjadi 2,91 hingga 2,96 yang tergolong dalam notasi terendah (a). Penurunan nilai a* ini sejalan dengan penurunan nilai L* yang telah dibahas sebelumnya, di mana reaksi pencoklatan yang lebih intensif pada suhu tinggi menghasilkan warna yang cenderung lebih gelap dan mengurangi intensitas warna merah pada produk. Fenomena penurunan nilai a* pada suhu tinggi disebabkan oleh terjadinya reaksi Maillard dan karamelisasi yang semakin intensif seiring dengan peningkatan suhu evaporasi. Reaksi Maillard antara gula pereduksi (glukosa dan fruktosa) dengan asam amino menghasilkan senyawa melanoidin yang berwarna coklat

hingga cokelat gelap (Damodaran & Parkin, 2017). Senyawa melanoidin ini memiliki spektrum warna yang bergeser dari merah ke arah cokelat gelap seiring dengan meningkatnya derajat polimerisasi. Semakin tinggi suhu, maka semakin kompleks struktur melanoidin yang terbentuk, yang menyebabkan warna produk bergeser dari cokelat kemerahan menjadi cokelat gelap kehitaman. Hal ini menjelaskan mengapa pada suhu 80°C nilai a^* lebih rendah dibandingkan pada suhu 60°C dan 70°C. Selain reaksi Maillard, reaksi karamelisasi juga berperan dalam penurunan nilai a^* pada suhu tinggi. Karamelisasi gula, terutama sukrosa dan gula pereduksi, terjadi ketika gula dipanaskan pada suhu tinggi tanpa adanya senyawa nitrogen. Proses ini melibatkan dehidrasi, fragmentasi, dan polimerisasi gula yang menghasilkan senyawa berwarna cokelat hingga hitam dengan berbagai tingkat kecerahan (Fennema et al., 2017). Karamel yang terbentuk pada suhu tinggi cenderung berwarna lebih gelap dan memiliki intensitas warna merah yang lebih rendah dibandingkan karamel yang terbentuk pada suhu lebih rendah. Dengan demikian, akumulasi produk karamelisasi pada suhu 80°C turut berkontribusi terhadap penurunan nilai a^* . Penelitian oleh Aghata (2018) juga melaporkan bahwa perbedaan suhu evaporasi memberikan pengaruh nyata terhadap parameter warna pada gula cair sorgum, termasuk nilai a^* . Penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu evaporasi, semakin rendah nilai a^* yang mengindikasikan penurunan intensitas warna merah pada produk. Hal ini sejalan dengan temuan Asikin dkk. (2023) yang menyatakan bahwa peningkatan suhu evaporasi pada produk gula menyebabkan perubahan warna dari cokelat kemerahan menjadi cokelat gelap yang lebih tua, yang tercermin dari penurunan nilai a^* dan L^* secara bersamaan.

Kecepatan pengadukan memberikan pengaruh yang bervariasi terhadap nilai a^* gula cair sorgum. Pada suhu 70°C, perlakuan dengan kecepatan pengaduk 36 rpm menghasilkan nilai a^* tertinggi (3,61) yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya, sementara pada suhu 80°C, perbedaan nilai a^* antar perlakuan kecepatan pengaduk relatif kecil (2,91-2,96). Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu tinggi, pengaruh kecepatan pengaduk terhadap nilai a^* menjadi kurang signifikan karena reaksi pencoklatan telah berlangsung sangat intensif dan mendominasi perubahan warna produk. Pengadukan dengan kecepatan 36 rpm pada suhu 70°C menghasilkan nilai a^* tertinggi karena distribusi panas yang merata memungkinkan reaksi Maillard dan karamelisasi berlangsung secara terkendali, menghasilkan produk dengan warna cokelat kemerahan yang lebih cerah. Kondisi ini sejalan dengan temuan bahwa pengadukan optimal dapat mendistribusikan panas secara merata, mencegah pemanasan lokal berlebihan, dan menghasilkan produk dengan karakteristik warna yang lebih baik (Dewi dkk., 2014). Pada suhu 80°C, nilai a^* yang rendah pada semua perlakuan kecepatan pengaduk menunjukkan bahwa suhu tinggi telah menyebabkan reaksi pencoklatan berlangsung sangat intensif sehingga peran pengadukan dalam memodulasi warna menjadi terbatas. Meskipun demikian, perlakuan dengan 36 rpm masih menghasilkan nilai a^* tertinggi (2,96) dibandingkan dengan 26 rpm (2,91) dan dengan 48 rpm (2,91), meskipun perbedaannya kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa kecepatan pengaduk yang optimal tetap memberikan kontribusi positif dalam mempertahankan intensitas warna merah pada produk meskipun dalam kondisi suhu tinggi. Pada suhu 70°C, perlakuan dengan kecepatan pengaduk 48 rpm menghasilkan nilai a^* terendah (3,29) dibandingkan dengan 26 rpm (3,39) dan 36 rpm (3,61). Fenomena ini menunjukkan

bahwa pengadukan yang terlalu cepat pada suhu sedang justru dapat menurunkan intensitas warna merah. Hal ini diduga disebabkan oleh peningkatan turbulensi dan gesekan mekanis yang menyebabkan konversi energi mekanis menjadi energi panas, sehingga meningkatkan suhu lokal secara tidak terkendali dan mempercepat reaksi pencoklatan. Selain itu, pengadukan cepat dapat menyebabkan lebih banyak gelembung udara terperangkap dalam larutan dan meningkatkan kontak antara larutan dengan permukaan dinding evaporator yang panas, yang dapat mempercepat pembentukan senyawa berwarna gelap.

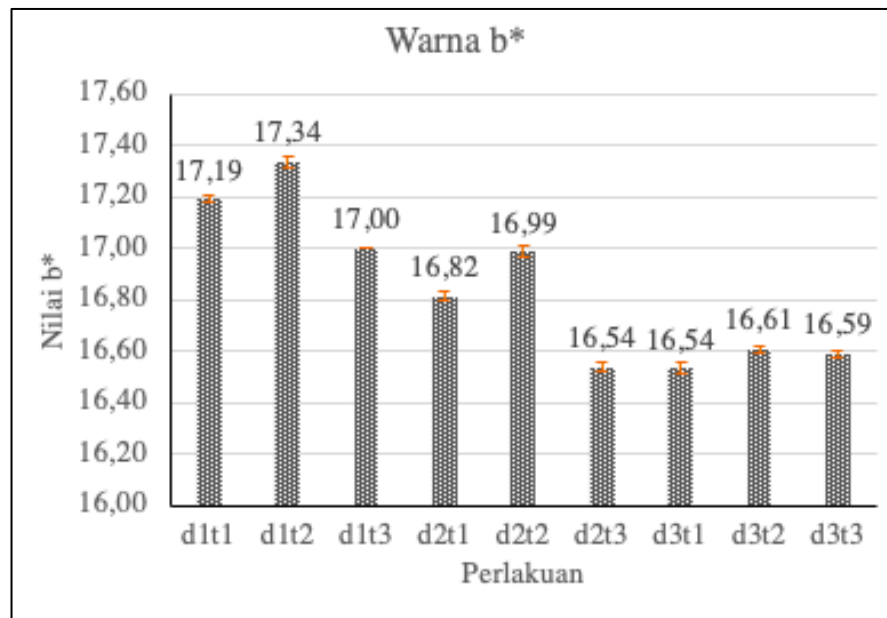
Interaksi antara suhu evaporasi dan kecepatan pengaduk menunjukkan bahwa suhu merupakan faktor dominan yang mempengaruhi nilai a^* , sementara pengaruh kecepatan pengaduk menjadi lebih terlihat pada suhu sedang (70°C) dibandingkan pada suhu rendah (60°C) dan suhu tinggi (80°C). Pada suhu 60°C , variasi kecepatan pengaduk tidak menghasilkan perbedaan nilai a^* yang signifikan, yang menunjukkan bahwa pada suhu rendah, laju reaksi pencoklatan masih lambat sehingga perbedaan distribusi panas akibat variasi pengadukan belum cukup untuk menghasilkan perubahan warna yang terukur. Pada suhu 70°C , perbedaan kecepatan pengaduk memberikan pengaruh yang paling nyata terhadap nilai a^* . Perlakuan dengan 36 rpm menghasilkan nilai a^* tertinggi (3,61), sementara 48 rpm menghasilkan nilai a^* terendah (3,29). Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu sedang, terdapat rentang kecepatan pengaduk yang optimal (36 rpm) untuk mempertahankan intensitas warna merah produk. Pada kecepatan ini, panas terdistribusi secara merata sehingga reaksi Maillard dan karamelisasi berlangsung secara terkendali dan menghasilkan warna coklat kemerahan yang lebih cerah. Sebaliknya,

pada kecepatan pengaduk yang terlalu rendah (26 rpm) atau terlalu tinggi (48 rpm), proses pencoklatan menjadi kurang terkendali dan menghasilkan produk dengan intensitas warna merah yang lebih rendah. Pada suhu 80°C, pengaruh kecepatan pengaduk terhadap nilai a^* menjadi minimal karena reaksi pencoklatan telah berlangsung sangat intensif dan mendekati titik jenuh. Pada suhu tinggi ini, akumulasi melanoidin dan produk karamelisasi telah mencapai tingkat yang cukup tinggi sehingga perbedaan kecil dalam distribusi panas akibat variasi kecepatan pengaduk tidak lagi menghasilkan perbedaan yang signifikan pada intensitas warna merah. Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu tinggi, faktor suhu menjadi faktor pembatas utama yang menentukan warna produk, sementara peran pengadukan menjadi sekunder. Nilai a^* positif yang diperoleh pada semua perlakuan menunjukkan bahwa gula cair sorgum yang dihasilkan memiliki kecenderungan warna merah, yang merupakan karakteristik khas produk gula dari nira sorgum. Kombinasi nilai L^* (32,87-34,50) dan a^* (2,91-3,61) serta b^* (16,54-17,34) yang akan dibahas selanjutnya, menggambarkan produk dengan warna cokelat kekuningan hingga cokelat kemerahan. Warna ini sesuai dengan karakteristik gula cair non-rafinasi yang dihasilkan dari nira sorgum tanpa proses pemurnian yang intensif, dan memberikan nilai tambah dari segi sensori karena warna cokelat kemerahan sering dikaitkan dengan cita rasa karamel yang khas dan disukai konsumen untuk aplikasi tertentu seperti bahan baku pembuatan kecap manis, sirup, atau produk bakeri. Secara keseluruhan, perlakuan 80°C;36 rpm yang merupakan perlakuan terbaik untuk parameter total padatan terlarut dan kadar air, menghasilkan nilai a^* sebesar 2,96 yang masih dalam kisaran yang dapat diterima. Meskipun nilai a^* pada perlakuan ini lebih rendah dibandingkan perlakuan pada suhu 60°C dan 70°C, namun

masih menunjukkan kecenderungan warna merah yang cukup untuk memberikan karakteristik visual produk gula cair sorgum yang khas. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan d3t2 mampu menghasilkan keseimbangan antara konsentrasi padatan terlarut yang tinggi dengan karakteristik warna yang masih dapat diterima secara visual, sehingga produk memiliki nilai tambah dari segi mutu dan penerimaan konsumen.

4.2.1.1.3. Intensitas (b^*)

Nilai b^* (kekuningan) merupakan parameter dalam sistem CIE $L^*a^*b^*$ yang menunjukkan kecenderungan warna kuning (positif) atau biru (negatif) pada suatu produk. Dalam penelitian ini, nilai b^* pada gula cair sorgum menunjukkan hasil positif yang berkisar antara 16,54 hingga 17,34, yang mengindikasikan bahwa produk memiliki kecenderungan warna kuning. Berdasarkan hasil analisis statistik yang disajikan pada Gambar 8, diketahui bahwa faktor suhu evaporasi (D), faktor kecepatan pengaduk (T), serta interaksi keduanya (DT) berpengaruh nyata terhadap nilai b^* gula cair sorgum.



Gambar 8. *Bar Chart* Uji warna intensitas b* Gula Cair Sorgum.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai b* gula cair sorgum cenderung menurun secara signifikan seiring dengan peningkatan suhu evaporasi dari 60°C menjadi 80°C. Pada suhu 60°C (d1), nilai b* berkisar antara 17,00-17,34 yang tergolong dalam notasi tertinggi (e, f, dan g) berdasarkan uji Duncan, sedangkan pada suhu 80°C (d3), nilai b* turun menjadi 16,54-16,61 yang termasuk dalam notasi terendah (a, b, dan c). Penurunan nilai b* ini mengindikasikan bahwa warna kuning pada gula cair berkurang dan bergeser ke arah warna yang lebih gelap atau coklat pada suhu evaporasi yang lebih tinggi. Penurunan nilai b* seiring dengan peningkatan suhu evaporasi disebabkan oleh terjadinya reaksi Maillard dan karamelisasi yang semakin intensif pada suhu tinggi. Reaksi Maillard antara gula pereduksi (glukosa) dengan asam amino menghasilkan senyawa melanoidin yang berwarna coklat hingga coklat gelap (Damodaran & Parkin, 2017). Senyawa melanoidin ini memiliki spektrum warna yang berbeda dengan senyawa kuning yang terbentuk pada tahap awal reaksi Maillard. Pada

tahap awal reaksi Maillard, terbentuk senyawa antara berupa *Schiff bases* dan *Amadori products* yang memiliki warna kuning cerah. Namun, seiring dengan meningkatnya suhu dan durasi pemanasan, senyawa-senyawa ini mengalami polimerisasi dan kondensasi membentuk melanoidin dengan warna cokelat hingga cokelat gelap (Fennema et al., 2017). Proses ini menyebabkan penurunan intensitas warna kuning (b^*) dan peningkatan intensitas warna cokelat yang tercermin dari penurunan nilai L^* dan b^* secara bersamaan. Selain reaksi Maillard, reaksi karamelisasi juga berperan dalam penurunan nilai b^* pada suhu tinggi. Karamelisasi gula terjadi ketika gula, terutama sukrosa dan gula pereduksi, dipanaskan pada suhu tinggi. Proses karamelisasi melibatkan serangkaian reaksi dehidrasi, fragmentasi, dan polimerisasi yang menghasilkan senyawa berwarna cokelat hingga hitam dengan berbagai tingkat kecerahan (Fennema et al., 2017). Pada suhu yang lebih tinggi, produk karamelisasi cenderung memiliki warna yang lebih gelap dan intensitas warna kuning yang lebih rendah. Dengan demikian, akumulasi produk karamelisasi pada suhu 80°C turut berkontribusi terhadap penurunan nilai b^* . Penurunan nilai b^* yang signifikan pada suhu 80°C juga dipengaruhi oleh kandungan gula pereduksi yang tinggi dalam nira sorgum. Sebagaimana diketahui, nira sorgum memiliki kadar gula reduksi (glukosa dan fruktosa) yang lebih tinggi dibandingkan nira tebu (Direktorat Jenderal Perkebunan, 1996). Gula pereduksi memiliki reaktivitas yang lebih tinggi dalam reaksi Maillard karena memiliki gugus karbonil bebas yang dapat bereaksi dengan gugus amina. Pada suhu tinggi, laju reaksi Maillard meningkat secara signifikan, menghasilkan akumulasi melanoidin yang lebih besar dan menyebabkan penurunan nilai b^* yang lebih drastis. Hal ini sejalan dengan penelitian Aghata (2018) yang melaporkan bahwa perbedaan

suhu evaporasi memberikan pengaruh nyata terhadap parameter warna pada gula cair sorgum, termasuk nilai b^* . Penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu evaporasi, semakin rendah nilai b^* yang mengindikasikan penurunan intensitas warna kuning pada produk. Hal ini sejalan dengan temuan Asikin dkk. (2023) yang menyatakan bahwa peningkatan suhu evaporasi pada produk gula menyebabkan perubahan warna dari kuning cerah menjadi coklat gelap, yang tercermin dari penurunan nilai b^* dan L^* secara bersamaan. Kecepatan pengadukan memberikan pengaruh yang bervariasi terhadap nilai b^* gula cair sorgum pada setiap taraf suhu yang diuji. Pada suhu 60°C (d1), perlakuan dengan kecepatan pengaduk 36 rpm menghasilkan nilai b^* tertinggi (17,34) yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya,

Pengadukan dengan kecepatan 36 rpm pada berbagai taraf suhu cenderung menghasilkan nilai b^* yang lebih tinggi dibandingkan kecepatan pengaduk lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa pengadukan dengan kecepatan optimal mampu mendistribusikan panas secara merata ke seluruh bagian larutan, sehingga reaksi Maillard dan karamelisasi berlangsung secara terkendali dan menghasilkan produk dengan warna kuning yang lebih cerah. Distribusi panas yang merata mencegah terjadinya pemanasan lokal yang berlebihan yang dapat memicu reaksi pencoklatan berlebih dan menurunkan intensitas warna kuning. Penelitian oleh Dewi dkk. (2014) pada pembuatan gula merah tebu dengan evaporator vakum juga menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan mempengaruhi homogenitas larutan gula saat proses pemekatan berlangsung pada kondisi vakum, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap kualitas akhir produk termasuk warna. Penelitian tersebut menemukan bahwa kecepatan

pengadukan yang optimal dapat menghasilkan produk dengan warna yang lebih cerah dan seragam dibandingkan tanpa pengadukan atau pengadukan yang berlebihan. Pada suhu 60°C, perlakuan dengan kecepatan pengaduk 48 rpm menghasilkan nilai b^* terendah (17,00) dibandingkan d1t1 (17,19) dan d1t2 (17,34). Fenomena ini menunjukkan bahwa pengadukan yang terlalu cepat pada suhu rendah pun dapat menurunkan intensitas warna kuning. Hal ini diduga disebabkan oleh peningkatan turbulensi dan gesekan mekanis yang menyebabkan konversi energi mekanis menjadi energi panas, sehingga meningkatkan suhu lokal secara tidak terkendali dan mempercepat reaksi pencoklatan. Selain itu, pengadukan cepat dapat menyebabkan lebih banyak gelembung udara terperangkap dalam larutan dan meningkatkan kontak antara larutan dengan permukaan dinding evaporator yang panas, yang dapat mempercepat pembentukan senyawa berwarna gelap. Pada suhu 70°C, pengaruh kecepatan pengaduk terhadap nilai b^* menunjukkan pola yang berbeda. Perlakuan (36 rpm) menghasilkan nilai b^* tertinggi (16,99), diikuti 26 rpm (16,82) dan 48 rpm (16,54). Perbedaan yang signifikan antara 26 rpm dan 48 rpm menunjukkan bahwa pada suhu sedang, pemilihan kecepatan pengaduk menjadi sangat krusial untuk mempertahankan intensitas warna kuning produk. Pengadukan yang terlalu cepat (48 rpm) pada suhu 70°C justru menurunkan nilai b^* secara signifikan, yang mengindikasikan terjadinya reaksi pencoklatan yang lebih intensif akibat pemanasan lokal yang tidak terkendali.

Interaksi antara suhu evaporasi dan kecepatan pengaduk menunjukkan bahwa suhu merupakan faktor dominan yang mempengaruhi nilai b^* , sementara pengaruh

kecepatan pengaduk menjadi lebih terlihat pada suhu sedang (70°C) dibandingkan pada suhu rendah (60°C) dan suhu tinggi (80°C). Pada suhu 60°C, variasi kecepatan pengaduk menghasilkan perbedaan nilai b^* yang cukup signifikan (17,00-17,34), menunjukkan bahwa pada suhu rendah sekalipun, distribusi panas yang merata melalui pengadukan optimal tetap penting untuk mempertahankan warna kuning produk. Hal ini berbeda dengan pola yang terlihat pada nilai L^* dan a^* , di mana pada suhu rendah pengaruh pengadukan kurang signifikan. Perbedaan ini menunjukkan bahwa parameter b^* lebih sensitif terhadap perubahan distribusi panas dibandingkan parameter L^* dan a^* . Pada suhu 70°C, perbedaan kecepatan pengaduk memberikan pengaruh yang paling nyata terhadap nilai b^* . Perlakuan 36 rpm menghasilkan nilai b^* tertinggi (16,99), sementara 48 rpm menghasilkan nilai b^* terendah (16,54). Perbedaan sebesar 0,45 satuan ini menunjukkan bahwa pada suhu sedang, pemilihan kecepatan pengaduk yang tepat sangat krusial untuk mempertahankan intensitas warna kuning produk. Pada kecepatan optimal 36 rpm, panas terdistribusi secara merata sehingga reaksi Maillard dan karamelisasi berlangsung secara terkendali dan menghasilkan produk dengan warna kuning yang lebih cerah. Sebaliknya, pada kecepatan pengaduk yang terlalu rendah (26 rpm) atau terlalu tinggi (48 rpm), proses pencoklatan menjadi kurang terkendali dan menghasilkan produk dengan intensitas warna kuning yang lebih rendah. Pada suhu 80°C, nilai b^* pada semua perlakuan kecepatan pengaduk relatif rendah (16,54-16,61) dan perbedaannya tidak terlalu besar secara statistik. Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu tinggi, reaksi pencoklatan telah berlangsung sangat intensif dan mendominasi perubahan warna produk, sehingga peran pengadukan dalam memodulasi warna kuning menjadi terbatas.

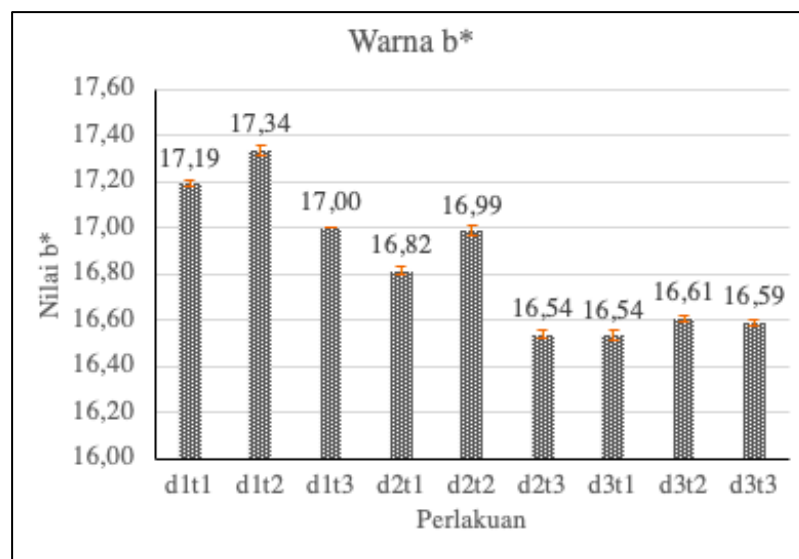
Interaksi antara suhu dan kecepatan pengaduk ini menunjukkan bahwa untuk menghasilkan gula cair dengan warna kuning yang optimal, perlu dipilih kombinasi perlakuan yang tepat. Perlakuan (60°C, 36 rpm) menghasilkan nilai b^* tertinggi (17,34). Perubahan nilai a^* dan b^* ini semakin mengkonfirmasi bahwa suhu evaporasi merupakan faktor utama yang mempengaruhi warna gula cair. Semakin tinggi suhu, semakin intensif reaksi Maillard dan karamelisasi yang terjadi, sehingga warna produk menjadi lebih gelap (L^* menurun) dan kecenderungan warna kuning berkurang (b^* menurun). Kombinasi nilai L^* , a^* , dan b^* yang diperoleh pada penelitian ini menggambarkan produk gula cair sorgum dengan warna cokelat kekuningan hingga cokelat kemerahan, yang merupakan karakteristik khas gula cair non-rafinasi dari nira sorgum.

Menurut SNI 01-2978-1992, gula cair yang baik seharusnya memiliki warna kuning bening hingga cokelat muda. Warna cokelat kekuningan yang dihasilkan pada penelitian ini masih dalam kisaran yang dapat diterima untuk produk gula cair non-rafinasi dan bahkan memberikan karakteristik sensori yang khas yang disukai konsumen untuk aplikasi tertentu seperti bahan baku pembuatan kecap manis, sirup, atau produk bakeri. Reaksi Maillard yang terjadi selama proses evaporasi tidak hanya menghasilkan warna gelap tetapi juga berkontribusi pada pembentukan flavor khas karamel yang dapat meningkatkan penerimaan konsumen terhadap produk gula cair sorgum. Secara keseluruhan, perlakuan 80°C dan 36 rpm terbukti mampu menghasilkan gula cair sorgum dengan karakteristik warna yang masih dalam kisaran yang dapat diterima ($L^*=33,04$; $a^*=2,96$; $b^*=16,61$) sekaligus mencapai total padatan

terlarut tertinggi (74,10 °Brix), sehingga produk memiliki nilai tambah dari segi mutu dan potensi penerimaan konsumen.

4.2.1.3 Viskositas

Viskositas merupakan ukuran kekentalan suatu cairan yang mencerminkan resistensi cairan terhadap aliran, dan menjadi parameter penting dalam menentukan karakteristik fisik gula cair karena berkaitan dengan kemudahan penanganan, pengemasan, serta penerimaan konsumen. Berdasarkan hasil analisis statistik yang disajikan pada Gambar 9, diketahui bahwa faktor suhu evaporasi (D), faktor kecepatan pengaduk (T), serta interaksi keduanya (DT) berpengaruh nyata terhadap viskositas gula cair sorgum pada taraf kepercayaan 95%. Nilai viskositas yang diperoleh berkisar antara 282,0 cP pada perlakuan d1t2 (60°C, 36 rpm) hingga 1107,5 cP pada perlakuan d3t1 (80°C, 26 rpm), menunjukkan rentang variasi yang sangat luas sebagai respon.



Gambar 9. Bar Chart Uji Viskositas Gula Cair Sorgum.

Viskositas gula cair sorgum meningkat secara signifikan seiring dengan peningkatan suhu evaporasi dari 60°C menjadi 80°C. Pada suhu 60°C, viskositas berkisar antara 282,0-328,0 cP, sedangkan pada suhu 70°C meningkat menjadi 540,0-665,0 cP, dan pada suhu 80°C meningkat tajam menjadi 995,0-1107,5 cP. Peningkatan viskositas yang sangat nyata ini disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi padatan terlarut (TPT) seiring dengan menguapnya air selama proses evaporasi. Semakin tinggi suhu evaporasi, semakin besar energi panas yang disuplai ke dalam sistem sehingga laju penguapan air meningkat secara signifikan, yang menyebabkan larutan gula menjadi lebih pekat dan kental. Ketika air menguap dari nira sorgum, jarak antar molekul gula menjadi semakin dekat sehingga gaya intermolekuler seperti ikatan hidrogen dan gaya van der Waals antar molekul gula meningkat. Molekul gula yang memiliki gugus hidroksil (-OH) yang banyak cenderung membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air dan sesama molekul gula. Semakin tinggi konsentrasi gula, semakin banyak ikatan hidrogen yang terbentuk antar molekul gula, yang meningkatkan resistensi cairan terhadap aliran atau dengan kata lain meningkatkan viskositas (Rao, 2014). Hal ini sejalan dengan penelitian Sukoyo dkk. (2014) yang menunjukkan bahwa derajat Brix memiliki dampak nyata terhadap viskositas gula kelapa cair, di mana peningkatan konsentrasi padatan terlarut menyebabkan peningkatan viskositas produk.

Suhu pengukuran juga merupakan faktor yang mempengaruhi nilai viskositas yang terukur. Secara umum, viskositas cairan menurun dengan meningkatnya suhu karena peningkatan energi kinetik molekul yang mengurangi gaya intermolekuler.

Namun dalam penelitian ini, viskositas diukur pada suhu ruang yang relatif konstan (25-27°C), sehingga perbedaan viskositas antar perlakuan lebih mencerminkan perbedaan konsentrasi dan komposisi gula, bukan perbedaan suhu pengukuran. Pada konsentrasi tinggi seperti yang dicapai pada perlakuan suhu 80°C (TPT 68,45-74,10 °Brix), larutan gula menunjukkan perilaku non-Newtonian di mana viskositas meningkat secara eksponensial dengan peningkatan konsentrasi, yang menjelaskan lonjakan viskositas yang sangat tajam dari 70°C ke 80°C. Penelitian oleh Aghata (2018) juga melaporkan bahwa perbedaan suhu evaporasi dan waktu evaporasi pada kondisi vakum memberikan pengaruh nyata terhadap viskositas gula cair sorgum. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa perlakuan terbaik gula cair sorgum diperoleh pada suhu evaporasi 80°C dengan waktu evaporasi 45 menit, yang menghasilkan viskositas sebesar 2809,66 cP. Nilai viskositas pada penelitian tersebut lebih tinggi dibandingkan penelitian ini (maksimal 1107,5 cP), yang disebabkan oleh perbedaan durasi evaporasi (45 menit vs 30 menit) dan jenis evaporator yang digunakan. Perbedaan durasi evaporasi memberikan pengaruh yang signifikan karena semakin lama waktu evaporasi, semakin banyak air yang menguap dan semakin tinggi konsentrasi padatan terlarut yang dicapai, sehingga viskositas produk akhir menjadi lebih tinggi.

Kecepatan pengadukan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap viskositas gula cair sorgum, dengan pola pengaruh yang berbeda pada setiap taraf suhu evaporasi. Pada suhu 80°C, perlakuan dengan pengadukan 26 rpm menghasilkan viskositas tertinggi (1107,5 cP), sedangkan pengadukan 36 rpm menghasilkan

viskositas yang lebih rendah (995,0 cP), dan pengadukan 48 rpm menghasilkan viskositas 1055,0 cP. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan mempengaruhi homogenitas proses evaporasi dan pada akhirnya karakteristik viskositas produk akhir. Pengadukan dengan kecepatan 36 rpm pada suhu 80°C menghasilkan viskositas terendah di antara perlakuan pada suhu tersebut. Fenomena ini dapat dijelaskan melalui mekanisme perpindahan panas dan massa selama proses evaporasi. Pengadukan dengan kecepatan optimal (36 rpm) mampu mendistribusikan panas secara merata ke seluruh bagian larutan, sehingga proses penguapan air berlangsung secara seragam dan efisien. Distribusi panas yang merata mencegah terjadinya pemanasan lokal yang berlebihan (hot spot) yang dapat menyebabkan penguapan air yang tidak merata dan pembentukan area dengan konsentrasi gula yang sangat tinggi. Ketika penguapan air berlangsung secara seragam, konsentrasi padatan terlarut dalam larutan menjadi lebih homogen, yang menghasilkan viskositas yang lebih terkendali dan lebih rendah dibandingkan jika terjadi pemanasan lokal yang tidak merata. Sebaliknya, pada kecepatan pengadukan yang terlalu rendah (26 rpm), distribusi panas menjadi kurang merata karena perpindahan panas konveksi yang terjadi terbatas. Kondisi ini menyebabkan bagian bawah larutan yang lebih dekat dengan sumber panas mengalami pemanasan berlebihan sementara bagian permukaan masih bersuhu lebih rendah. Akibatnya, penguapan air terjadi lebih intensif di area dengan suhu tinggi, menyebabkan konsentrasi gula lokal yang sangat tinggi dan peningkatan viskositas secara lokal. Selain itu, pemanasan yang tidak merata juga dapat mempercepat reaksi Maillard dan karamelisasi di area dengan suhu tinggi, yang menghasilkan senyawa polimer dengan berat molekul tinggi yang turut meningkatkan

viskositas produk secara keseluruhan. Pada kecepatan pengadukan 48 rpm, viskositas kembali meningkat menjadi 1055,0 cP, yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan 36 rpm namun masih lebih rendah dibandingkan 26 rpm. Peningkatan viskositas pada pengadukan yang terlalu cepat ini diduga disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, pengadukan yang terlalu cepat meningkatkan turbulensi dan gesekan mekanis dalam larutan yang sangat kental, menyebabkan konversi energi mekanis menjadi energi panas (gesekan). Penelitian oleh Dewi dkk. (2014) pada pembuatan gula merah tebu dengan evaporator vakum juga menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan mempengaruhi distribusi panas dan homogenitas larutan gula saat proses pemekatan berlangsung pada kondisi vakum, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap kualitas akhir produk termasuk viskositas. Penelitian tersebut menemukan bahwa terdapat kecepatan pengadukan optimal yang menghasilkan produk dengan karakteristik fisik terbaik, di mana pengadukan yang terlalu lambat menyebabkan ketidakmerataan proses, sementara pengadukan yang terlalu cepat dapat menyebabkan masalah operasional dan penurunan kualitas produk.

Interaksi antara suhu evaporasi dan kecepatan pengaduk menunjukkan bahwa pengaruh kecepatan pengaduk terhadap viskositas menjadi semakin signifikan pada suhu tinggi dibandingkan pada suhu rendah. Pada suhu 60°C, perbedaan viskositas antar perlakuan kecepatan pengaduk relatif kecil (282,0-328,0 cP), yang mengindikasikan bahwa pada suhu rendah, proses penguapan air berlangsung lambat sehingga pengaruh distribusi panas melalui pengadukan terhadap konsentrasi dan viskositas produk menjadi kurang kritis. Energi panas yang tersedia pada suhu 60°C

belum cukup untuk mendorong penguapan air secara intensif, sehingga meskipun terjadi ketidakmerataan suhu akibat pengadukan yang kurang optimal, dampaknya terhadap konsentrasi gula dan viskositas produk masih minimal.

Pada suhu 70°C, perbedaan viskositas antar perlakuan kecepatan pengaduk mulai terlihat lebih jelas (540,0-665,0 cP). Pada suhu ini, laju penguapan air sudah cukup signifikan sehingga distribusi panas menjadi faktor penting dalam menentukan homogenitas konsentrasi gula. Perlakuan dengan pengadukan 36 rpm menghasilkan viskositas terendah (540,0 cP), yang menunjukkan bahwa pada suhu sedang, distribusi panas yang merata melalui pengadukan optimal menghasilkan proses evaporasi yang seragam dan viskositas yang lebih terkendali. Sebaliknya, pengadukan yang terlalu lambat (26 rpm) atau terlalu cepat (48 rpm) menghasilkan viskositas yang lebih tinggi (618,0 cP dan 665,0 cP), yang mengindikasikan terjadinya proses evaporasi yang kurang terkendali.

Pada suhu 80°C, pengaruh kecepatan pengaduk terhadap viskositas menjadi sangat signifikan, dengan rentang viskositas yang sangat lebar (995,0-1107,5 cP). Pada suhu tinggi, laju penguapan air sangat intensif sehingga setiap ketidakmerataan suhu atau pemanasan lokal akan segera menghasilkan peningkatan konsentrasi gula yang lokal dan peningkatan viskositas yang signifikan. Dalam kondisi ini, pengadukan dengan kecepatan optimal (36 rpm) menjadi sangat krusial untuk memastikan panas terdistribusi secara merata dan mencegah terbentuknya area-area dengan konsentrasi gula yang sangat tinggi yang akan meningkatkan viskositas produk secara keseluruhan.

Interaksi antara suhu dan kecepatan pengaduk yang diamati pada penelitian ini menunjukkan bahwa untuk menghasilkan gula cair dengan viskositas yang optimal, perlu dipilih kombinasi perlakuan yang tepat. Perlakuan 60°C, 36 rpm menghasilkan viskositas terendah (282,0 cP), namun nilai total padatan terlarut pada perlakuan ini hanya 69,75 °Brix yang masih di bawah nilai TPT optimal yang diinginkan. Sementara itu, perlakuan d3t2 (80°C, 36 rpm) yang merupakan perlakuan terbaik untuk parameter total padatan terlarut (74,10 °Brix) dan kadar air (18,02%), menghasilkan viskositas sebesar 995,0 cP. Viskositas gula cair sorgum yang dihasilkan pada penelitian ini berkisar antara 282,0-1107,5 cP, yang berada dalam rentang viskositas produk gula cair komersial. Menurut penelitian tentang karakteristik gula cair dari berbagai sumber, viskositas gula cair pada konsentrasi 65-75 °Brix umumnya berkisar antara 500-3000 cP tergantung pada komposisi gula, suhu, dan metode pengolahan (Rao, 2014). Viskositas yang dihasilkan pada penelitian ini (terutama pada perlakuan d3t2 dengan viskositas 995 cP) berada dalam rentang yang dapat diterima untuk aplikasi sebagai bahan baku industri pangan, karena produk dengan viskositas sedang hingga tinggi masih mudah dipompa, ditransfer, dan dicampur dengan bahan lain. Selain itu, viskositas yang cukup tinggi memberikan keuntungan dalam hal stabilitas produk selama penyimpanan karena mengurangi mobilitas molekul dan menghambat pertumbuhan mikroorganisme. Dengan demikian, perlakuan 80°C dan 36 rpm terbukti mampu menghasilkan gula cair sorgum dengan karakteristik viskositas yang optimal sekaligus mencapai konsentrasi padatan terlarut dan kadar air yang memenuhi standar mutu, sehingga produk memiliki nilai tambah dari segi kualitas fisik dan potensi aplikasi industri.

4.2.2 Respon Kimia

Kualitas kimiawi gula cair sorgum dievaluasi melalui beberapa parameter, meliputi kadar air, kadar gula pereduksi yang mempengaruhi rasa manis dan stabilitas produk, kadar sukrosa yang menunjukkan kandungan gula non-pereduksi, serta kadar gula total sebagai indikator utama kandungan gula keseluruhan. Hasil pengujian kimia produk gula cair disajikan pada Tabel 6.

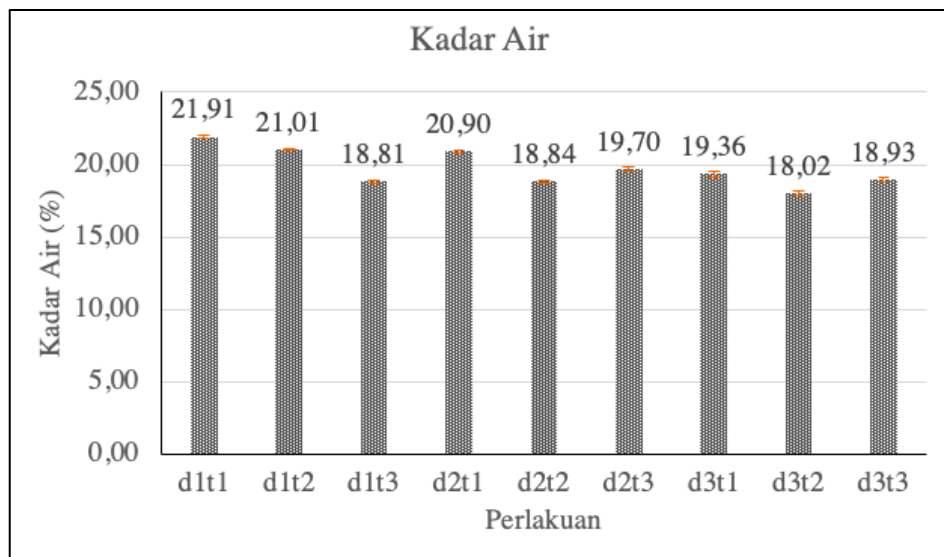
Tabel 6 Hasil Respon Kimia Gula Cair Sorgum.

Perlakuan	Kadar Air (%)	Gula Reduksi (%)	Sukrosa (%)	Gula Total (%)
60°C;26 rpm	21,91± 0,13 ⁱ	34,89± 0,15 ^a	21,53± 0,09 ^c	56,41± 0,24 ^b
60°C;36 rpm	21,01± 0,06 ^h	35,34± 0,05 ^a	16,44± 0,01 ^b	51,78± 0,06 ^b
60°C;48 rpm	18,81± 0,10 ^b	34,64± 0,10 ^b	21,38± 0,06 ^c	56,02± 0,16 ^c
70°C;26 rpm	20,90± 0,08 ^g	35,44± 0,10 ^a	16,50± 0,05 ^b	51,94± 0,15 ^a
70°C;36 rpm	18,84± 0,12 ^c	36,03± 0,10 ^b	11,47± 0,04 ^a	47,50± 0,13 ^c
70°C;48 rpm	19,70± 0,19 ^f	34,49± 0,32 ^a	26,23± 0,39 ^d	60,71± 0,07 ^d
80°C;26 rpm	19,36± 0,10 ^e	35,10± 0,05 ^c	21,66± 0,04 ^c	56,75± 0,08 ^c
80°C;36 rpm	18,02± 0,18 ^a	35,13± 0,05 ^d	14,09± 3,17 ^a	49,21± 3,13 ^c
80°C;48 rpm	18,93± 0,15 ^d	34,70± 0,32 ^c	24,11± 3,61 ^c	58,80± 3,29 ^c

Ket: Huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$).

4.2.2.1 Kadar Air

Kadar air merupakan salah satu parameter mutu yang sangat penting dalam gula cair karena berkaitan langsung dengan stabilitas produk selama penyimpanan, aktivitas air, serta potensi pertumbuhan mikroorganisme. Berdasarkan hasil analisis statistik, diketahui bahwa faktor suhu evaporasi (D), faktor kecepatan pengaduk (T), serta interaksi keduanya (DT) berpengaruh nyata terhadap kadar air gula cair sorgum pada taraf kepercayaan 95%. Nilai kadar air yang diperoleh berkisar antara 18,02% hingga 21,91%, dengan perlakuan pada suhu 80°C dan kecepatan pengaduk 36 rpm menghasilkan kadar air terendah, sementara perlakuan pada suhu 60°C dengan pengadukan lambat menghasilkan kadar air tertinggi.



Gambar 9. Bar Chart Uji Kadar Air.

Penurunan kadar air gula cair sorgum terjadi secara signifikan seiring dengan peningkatan suhu evaporasi dari 60°C menjadi 80°C. Fenomena ini terjadi karena semakin tinggi suhu evaporasi, semakin besar energi panas yang disuplai ke dalam

sistem sehingga laju penguapan air dari nira sorgum meningkat secara signifikan. Secara termodinamika, peningkatan suhu evaporasi memperbesar tekanan uap air, sehingga lebih banyak molekul air yang memiliki energi kinetik cukup untuk lepas dari permukaan larutan dan berubah menjadi fase uap (Geankoplis, 2003). Semakin tinggi suhu, semakin besar fraksi molekul air yang mencapai energi aktivasi yang diperlukan untuk mengatasi gaya intermolekuler yang mengikatnya dalam larutan, sehingga proses penguapan berlangsung lebih intensif dan efisien. Proses evaporasi vakum yang digunakan dalam penelitian ini memungkinkan penguapan air berlangsung pada suhu yang lebih rendah dibandingkan evaporasi konvensional pada tekanan atmosfer, karena penurunan tekanan menurunkan titik didih air. Namun demikian, dalam rentang suhu yang diuji (60-80°C), peningkatan suhu tetap berkorelasi positif dengan jumlah air yang dapat diuapkan dalam durasi waktu yang sama (30 menit). Pada suhu 80°C, energi panas yang tersedia cukup besar untuk mendorong penguapan air secara intensif sehingga kadar air produk turun hingga mencapai 18,02%, yang berada di bawah batas maksimum yang dipersyaratkan oleh SNI 01-2978-1992 (maksimal 20%). Sebaliknya, pada suhu 60°C, energi panas yang tersedia masih terbatas sehingga penguapan air berlangsung lambat dan kadar air produk masih tinggi (21,91%), yang melampaui batas maksimum standar mutu. Hal ini sejalan dengan penelitian Toledo (2007) yang menyatakan bahwa penerapan penguapan pada temperatur rendah pada sistem vakum berfungsi untuk menguapkan pelarut air secara konstan tanpa memicu kerusakan termal, namun efektivitas penguapan tetap dipengaruhi oleh besarnya energi panas yang disuplai. Penelitian Hidayat dkk. (2021) pada pemekatan madu hutan Sumatra dengan vacuum evaporator juga mencatat bahwa penurunan kadar air melalui

pemekatan menyebabkan peningkatan derajat Brix dan perubahan karakteristik fisikokimia produk, yang menunjukkan bahwa suhu evaporasi merupakan faktor kunci dalam menentukan efisiensi penguapan air.

Kecepatan pengadukan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar air gula cair sorgum, dengan pola pengaruh yang berbeda pada setiap taraf suhu evaporasi. Pada suhu 80°C, perlakuan dengan kecepatan pengaduk 36 rpm menghasilkan kadar air terendah (18,02%), sementara pengadukan 26 rpm menghasilkan kadar air 19,36% dan pengadukan 48 rpm menghasilkan 18,93%. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat kecepatan pengaduk optimal yang paling efektif dalam menguapkan air selama proses evaporasi. Pengadukan dengan kecepatan optimal (36 rpm) mampu mendistribusikan panas secara merata ke seluruh bagian nira selama proses evaporasi, sehingga proses penguapan air berlangsung lebih efisien dan merata di seluruh volume larutan. Agitasi yang baik mencegah terjadinya stratifikasi suhu dalam larutan, di mana bagian bawah larutan yang lebih dekat dengan sumber panas dapat mengalami pemanasan berlebihan sementara bagian permukaan tetap bersuhu lebih rendah (Fellows, 2017). Pemerataan suhu ini memungkinkan proses penguapan air berlangsung secara konsisten di seluruh bagian larutan tanpa terjadi titik-titik panas lokal yang justru dapat menyebabkan penguapan tidak merata dan potensi kerusakan komponen gula.

Pada kecepatan pengadukan yang terlalu rendah (26 rpm), distribusi panas menjadi kurang merata karena perpindahan panas konveksi yang terjadi terbatas. Kondisi ini menyebabkan bagian bawah larutan yang lebih dekat dengan sumber panas mengalami pemanasan berlebihan sementara bagian permukaan masih bersuhu lebih

rendah. Akibatnya, penguapan air terjadi lebih intensif di area dengan suhu tinggi, namun secara keseluruhan laju penguapan air menjadi kurang efisien karena panas tidak terdistribusi secara optimal ke seluruh volume larutan. Hal ini mengakibatkan kadar air produk masih relatif tinggi meskipun telah diberikan energi panas yang cukup. Penelitian oleh Dewi dkk. (2014) pada pembuatan gula merah tebu dengan evaporator vakum juga menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan mempengaruhi distribusi panas dan homogenitas larutan gula saat proses pemekatan berlangsung, yang pada akhirnya mempengaruhi kadar air produk akhir. Penelitian tersebut menemukan bahwa semakin tinggi kecepatan pengadukan hingga batas tertentu, kadar air produk cenderung lebih rendah, namun pengadukan yang berlebihan dapat menyebabkan masalah operasional dan penurunan kualitas produk.

Interaksi antara suhu evaporasi dan kecepatan pengaduk menunjukkan bahwa pengaruh kecepatan pengaduk terhadap kadar air menjadi semakin signifikan pada suhu tinggi dibandingkan pada suhu rendah. Pada suhu 60°C, perbedaan kadar air antar perlakuan kecepatan pengaduk cukup besar (18,81-21,91%), yang menunjukkan bahwa pada suhu rendah sekalipun, distribusi panas melalui pengadukan mempengaruhi efisiensi penguapan air. Hal ini berbeda dengan pola yang terlihat pada beberapa parameter lain di mana pada suhu rendah pengaruh pengadukan kurang signifikan. Perbedaan ini menunjukkan bahwa parameter kadar air lebih sensitif terhadap perubahan distribusi panas dibandingkan parameter lainnya, karena penguapan air merupakan proses yang sangat bergantung pada transfer panas yang merata ke seluruh bagian larutan.

Interaksi antara suhu dan kecepatan pengaduk ini menunjukkan bahwa untuk menghasilkan gula cair dengan kadar air yang optimal dan memenuhi standar mutu, perlu dipilih kombinasi perlakuan yang tepat. Perlakuan pada suhu 80°C dengan kecepatan pengaduk 36 rpm terbukti sebagai kombinasi terbaik karena menghasilkan kadar air terendah (18,02%) yang berbeda nyata dengan semua perlakuan lainnya. Kadar air yang rendah ini sangat penting untuk stabilitas produk selama penyimpanan karena kadar air yang rendah akan menurunkan aktivitas air (A_w) produk, sehingga menghambat pertumbuhan mikroorganisme dan memperpanjang umur simpan gula cair (Pontoh, 2013).

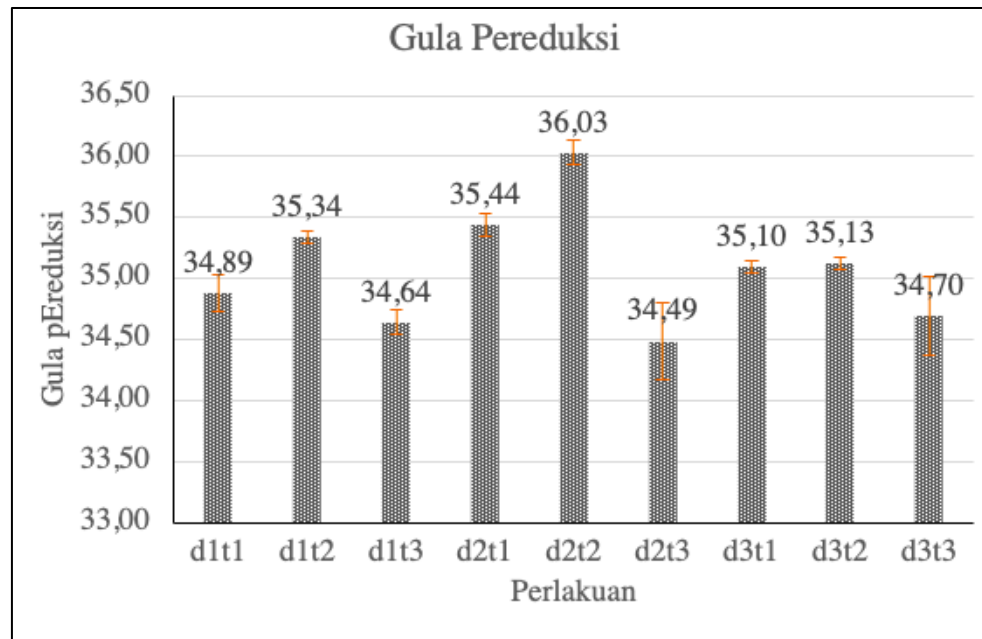
Nilai kadar air yang diperoleh pada perlakuan terbaik 80°C dan 36 rpm (18,02%) telah memenuhi standar mutu SNI 01-2978-1992 yang mensyaratkan kadar air maksimal 20% untuk gula cair. Beberapa perlakuan lain juga menghasilkan kadar air di bawah 20%, yaitu perlakuan pada suhu 70°C dengan pengadukan 36 rpm (18,84%), perlakuan pada suhu 80°C dengan pengadukan 48 rpm (18,93%), perlakuan pada suhu 70°C dengan pengadukan 48 rpm (19,70%), dan perlakuan pada suhu 80°C dengan pengadukan 26 rpm (19,36%). Namun demikian, perlakuan pada suhu 60°C dengan pengadukan 26 rpm (21,91%) dan 36 rpm (21,01%) serta perlakuan pada suhu 70°C dengan pengadukan 26 rpm (20,90%) menghasilkan kadar air yang melebihi batas maksimum SNI, sehingga tidak direkomendasikan untuk produksi gula cair yang memenuhi standar mutu.

Kadar air yang rendah pada produk gula cair sangat penting karena berkaitan dengan stabilitas produk selama penyimpanan. Menurut Pontoh (2013), umur simpan gula cair dapat dipertahankan dalam waktu yang lama tanpa penambahan pengawet

sintetis asalkan proses pemekatannya mencapai total padatan terlarut minimal 65-70% yang berimplikasi pada kadar air yang rendah. Kadar air yang rendah akan menurunkan aktivitas air (A_w) produk sehingga menghambat pertumbuhan mikroba perusak seperti kapang, khamir, dan bakteri. Pada penelitian ini, kadar air yang dicapai pada perlakuan terbaik (18,02%) setara dengan total padatan terlarut 74,10 °Brix, yang mengindikasikan bahwa produk memiliki aktivitas air yang rendah dan stabil selama penyimpanan. Dengan demikian, perlakuan pada suhu 80°C dengan kecepatan pengaduk 36 rpm terbukti mampu menghasilkan gula cair sorgum dengan karakteristik kadar air yang optimal sekaligus memenuhi standar mutu SNI, sehingga produk memiliki daya simpan yang baik dan potensi aplikasi industri yang luas.

4.2.2.2 Gula Pereduksi (Glukosa)

Gula pereduksi (glukosa) merupakan parameter penting dalam gula cair karena menentukan tingkat kemanisan, stabilitas produk, serta menjadi indikator terjadinya hidrolisis sukrosa selama proses evaporasi. Berdasarkan hasil analisis statistik yang disajikan pada Gambar 10, diketahui bahwa faktor suhu evaporasi (D), faktor kecepatan pengaduk (T), serta interaksi keduanya (DT) berpengaruh nyata terhadap kadar gula pereduksi gula cair sorgum pada taraf kepercayaan 95%. Nilai kadar gula pereduksi yang diperoleh berkisar antara 34,49% hingga 36,03%, yang semuanya telah memenuhi persyaratan SNI 01-2978-1992 yang mensyaratkan kadar gula pereduksi minimal 30%.



Gmbar 10. *Bar Chart* Uji Gula Pereduksi Gula Cair Sorgum.

Peningkatan suhu evaporasi dari 60°C menjadi 70°C secara umum menyebabkan peningkatan kadar gula pereduksi gula cair sorgum, namun pada suhu 80°C terjadi kecenderungan penurunan atau stagnasi pada beberapa perlakuan. Fenomena ini terjadi karena semakin tinggi suhu evaporasi, semakin besar energi panas yang disuplai ke dalam sistem sehingga reaksi hidrolisis sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa (gula pereduksi) berlangsung lebih cepat. Pada kondisi suhu tinggi, ikatan glikosidik pada molekul sukrosa menjadi lebih mudah terpecah melalui proses hidrolisis asam yang dipercepat oleh panas, sehingga jumlah gula pereduksi meningkat (Sukoyo, 2014). Peningkatan kadar glukosa yang diamati pada perlakuan suhu 70°C dengan pengadukan 36 rpm (36,03%) menunjukkan bahwa proses evaporasi vakum pada suhu sedang telah menginduksi inversi sukrosa secara signifikan.

Pada suhu 80°C, kadar gula pereduksi tidak menunjukkan peningkatan yang konsisten dibandingkan suhu 70°C, bahkan cenderung menurun pada beberapa perlakuan. Fenomena ini disebabkan oleh dua faktor utama. Pertama, pada suhu yang sangat tinggi, gula pereduksi yang terbentuk dapat mengalami degradasi termal lebih lanjut menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana seperti furfural dan hidroksimetilfurfural (HMF) melalui reaksi dehidrasi, yang mengurangi kadar gula pereduksi yang terukur (Damodaran & Parkin, 2017). Kedua, gula pereduksi yang terbentuk pada suhu tinggi akan lebih cepat bereaksi dalam reaksi Maillard dengan asam amino yang terdapat dalam nira sorgum, menghasilkan senyawa melanoidin dan mengurangi konsentrasi gula pereduksi bebas dalam larutan. Hal ini sejalan dengan penurunan nilai kecerahan (L^*) dan peningkatan warna gelap yang telah dibahas sebelumnya, di mana reaksi Maillard yang intensif pada suhu tinggi mengonsumsi gula pereduksi sebagai substrat reaksi. Penelitian oleh Han dkk. (2025) pada jus tebu yang dimurnikan melalui membran juga menemukan bahwa selama evaporasi vakum terjadi isomerisasi glukosa dan fruktosa yang akan membentuk melanoidin yang mengubah warna dan komposisi kimia larutan. Perubahan ini bersifat sangat sensitif terhadap suhu operasi, di mana peningkatan suhu mempercepat pembentukan melanoidin dan mengurangi kadar gula pereduksi bebas. Hal ini menjelaskan mengapa pada suhu 80°C, meskipun proses hidrolisis sukrosa berlangsung lebih cepat, namun konsumsi gula pereduksi oleh reaksi Maillard juga meningkat, sehingga kadar gula pereduksi yang terukur menjadi tidak setinggi pada suhu 70°C.

Kecepatan pengadukan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar gula pereduksi gula cair sorgum, dengan pola pengaruh yang berbeda pada setiap taraf suhu evaporasi. Pada suhu 70°C, perlakuan dengan kecepatan pengaduk 36 rpm menghasilkan kadar gula pereduksi tertinggi (36,03%), sementara pengadukan 48 rpm menghasilkan kadar gula pereduksi terendah (34,49%). Fenomena ini menunjukkan bahwa terdapat kecepatan pengaduk optimal yang paling efektif dalam mendorong proses hidrolisis sukrosa menjadi gula pereduksi. Pengadukan dengan kecepatan 36 rpm pada suhu 70°C menghasilkan kadar gula pereduksi tertinggi karena distribusi panas yang merata memungkinkan reaksi hidrolisis sukrosa berlangsung secara optimal di seluruh bagian larutan. Agitasi yang baik mencegah terjadinya stratifikasi suhu dalam larutan, di mana bagian bawah larutan yang lebih dekat dengan sumber panas dapat mengalami pemanasan berlebihan yang dapat mendegradasi gula pereduksi, sementara bagian permukaan tetap bersuhu lebih rendah yang menghambat proses hidrolisis (Fellows, 2017). Pemerataan suhu ini memungkinkan proses hidrolisis sukrosa berlangsung secara konsisten di seluruh bagian larutan, menghasilkan akumulasi gula pereduksi yang maksimum. Pada kecepatan pengadukan yang terlalu rendah (26 rpm), distribusi panas menjadi kurang merata karena perpindahan panas konveksi yang terjadi terbatas. Kondisi ini menyebabkan bagian bawah larutan yang lebih dekat dengan sumber panas mengalami pemanasan berlebihan sementara bagian permukaan masih bersuhu lebih rendah. Akibatnya, hidrolisis sukrosa terjadi secara tidak merata, dan pada area dengan suhu tinggi, gula pereduksi yang terbentuk dapat mengalami degradasi termal atau bereaksi dalam reaksi Maillard, sehingga kadar gula pereduksi total menjadi lebih rendah. Pada kecepatan pengadukan 48 rpm, kadar gula

pereduksi yang dihasilkan (34,49%) lebih rendah dibandingkan pengadukan 26 rpm (35,44%) dan jauh lebih rendah dibandingkan pengadukan 36 rpm (36,03%). Peningkatan kadar gula pereduksi pada pengadukan yang terlalu cepat ini diduga disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, pengadukan yang terlalu cepat meningkatkan turbulensi dan gesekan mekanis dalam larutan, yang dapat menyebabkan konversi energi mekanis menjadi energi panas (gesekan) dan meningkatkan suhu lokal secara tidak terkendali. Peningkatan suhu lokal ini dapat mempercepat degradasi gula pereduksi dan reaksi Maillard. Kedua, pengadukan cepat pada larutan gula dapat menyebabkan terbentuknya gelembung udara yang terperangkap, yang dapat mengoksidasi gula pereduksi dan menurunkan kadarnya. Ketiga, pengadukan yang terlalu cepat dapat menyebabkan shear stress yang berlebihan pada molekul gula, meskipun efek ini mungkin tidak dominan dibandingkan efek termal. Penelitian oleh Dewi dkk. (2014) pada pembuatan gula merah tebu dengan evaporator vakum juga menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan mempengaruhi homogenitas larutan gula saat proses pemekatan berlangsung pada kondisi vakum, yang pada akhirnya mempengaruhi kualitas akhir produk termasuk komposisi gula. Penelitian tersebut menemukan bahwa kecepatan pengadukan yang optimal dapat menghasilkan produk dengan karakteristik kimia yang lebih baik, sementara pengadukan yang berlebihan dapat menyebabkan masalah operasional dan penurunan kualitas produk.

Interaksi antara suhu evaporasi dan kecepatan pengaduk menunjukkan bahwa pengaruh kecepatan pengaduk terhadap kadar gula pereduksi menjadi semakin

signifikan pada suhu sedang (70°C) dibandingkan pada suhu rendah (60°C) dan suhu tinggi (80°C). Pada suhu 60°C, perbedaan kadar gula pereduksi antar perlakuan kecepatan pengaduk relatif kecil (34,64-34,89%), yang mengindikasikan bahwa pada suhu rendah, energi panas yang tersedia belum cukup untuk mendorong hidrolisis sukrosa secara intensif, sehingga peran pengadukan dalam mendistribusikan panas menjadi kurang kritis. Laju reaksi hidrolisis pada suhu 60°C masih lambat, sehingga meskipun terjadi ketidakmerataan suhu akibat pengadukan yang kurang optimal, dampaknya terhadap pembentukan gula pereduksi masih minimal.

Pada suhu 70°C, perbedaan kecepatan pengaduk memberikan pengaruh yang paling nyata terhadap kadar gula pereduksi. Perlakuan dengan pengadukan 36 rpm menghasilkan kadar gula pereduksi tertinggi (36,03%), sementara pengadukan 48 rpm menghasilkan kadar gula pereduksi terendah (34,49%). Perbedaan sebesar 1,54% ini menunjukkan bahwa pada suhu sedang, pemilihan kecepatan pengaduk yang tepat menjadi sangat krusial untuk memaksimalkan pembentukan gula pereduksi melalui hidrolisis sukrosa sekaligus meminimalkan degradasi gula pereduksi melalui reaksi Maillard dan karamelisasi. Pada kecepatan optimal 36 rpm, panas terdistribusi secara merata sehingga reaksi hidrolisis sukrosa berlangsung optimal tanpa menyebabkan degradasi berlebihan pada gula pereduksi yang terbentuk.

Pada suhu 80°C, kadar gula pereduksi pada semua perlakuan kecepatan pengaduk relatif seragam (35,10-35,34%) dan perbedaannya tidak terlalu besar secara statistik. Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu tinggi, reaksi hidrolisis sukrosa dan degradasi gula pereduksi berlangsung sangat cepat sehingga dominasi faktor suhu

mengatasi pengaruh kecepatan pengaduk dalam menentukan kadar gula pereduksi akhir. Pada suhu tinggi ini, laju hidrolisis sukrosa sangat tinggi, namun di sisi lain laju degradasi gula pereduksi melalui reaksi Maillard dan dehidrasi termal juga meningkat secara signifikan, sehingga kadar gula pereduksi yang terukur merupakan hasil keseimbangan antara laju pembentukan dan laju konsumsi gula pereduksi.

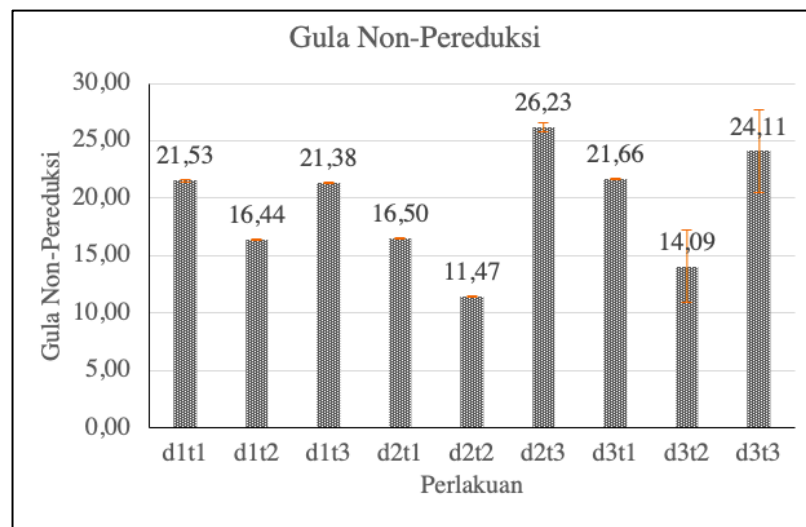
Interaksi antara suhu dan kecepatan pengaduk yang diamati pada penelitian ini menunjukkan bahwa untuk menghasilkan gula cair dengan kadar gula pereduksi yang optimal, perlu dipilih kombinasi perlakuan yang tepat. Perlakuan pada suhu 70°C dengan kecepatan pengaduk 36 rpm terbukti sebagai kombinasi terbaik karena menghasilkan kadar gula pereduksi tertinggi (36,03%) yang berbeda nyata dengan semua perlakuan lainnya. Kadar gula pereduksi yang tinggi ini menguntungkan karena gula pereduksi (glukosa dan fruktosa) memiliki tingkat kemanisan yang lebih tinggi dibandingkan sukrosa, sehingga produk gula cair memiliki tingkat kemanisan yang baik meskipun kadar gula totalnya lebih rendah.

Nilai kadar gula pereduksi yang diperoleh pada seluruh perlakuan (34,49-36,03%) telah memenuhi standar mutu SNI 01-2978-1992 yang mensyaratkan kadar gula pereduksi minimal 30% untuk sirup glukosa. Tingginya kadar gula pereduksi pada produk gula cair sorgum ini merupakan karakteristik khas yang membedakannya dari gula cair berbasis tebu, karena nira sorgum secara alami memiliki kandungan gula reduksi yang lebih tinggi dibandingkan nira tebu (Direktorat Jenderal Perkebunan, 1996). Dengan demikian, produk gula cair sorgum yang dihasilkan tidak hanya memenuhi standar mutu tetapi juga memiliki keunggulan kompetitif dalam hal

kemanisan dan stabilitas produk, sehingga berpotensi untuk dikembangkan sebagai alternatif pemanis alami yang berkualitas.

4.2.2.3 Kadar Sukrosa

Sukrosa merupakan disakarida yang tersusun dari glukosa dan fruktosa melalui ikatan glikosidik, dan menjadi komponen gula utama dalam nira sorgum bersama dengan gula pereduksi. Kadar sukrosa dalam gula cair mencerminkan tingkat hidrolisis yang terjadi selama proses evaporasi, di mana semakin rendah kadar sukrosa mengindikasikan semakin banyak sukrosa yang terhidrolisis menjadi gula pereduksi. Berdasarkan hasil analisis statistik yang disajikan pada gambar 11, diketahui bahwa interaksi antara suhu evaporasi dan kecepatan pengaduk (DT) berpengaruh nyata terhadap kadar sukrosa gula cair sorgum pada taraf kepercayaan 95%. Nilai kadar sukrosa yang diperoleh berkisar antara 11,47% hingga 26,23%, dengan pola yang berkorelasi terbalik dengan kadar gula pereduksi yang telah dibahas sebelumnya.



Gambar 11. Bar Chart Uji Gula Non-Pereduksi (Sukrosa) Gula Cair Sorgum.

Penurunan kadar sukrosa gula cair sorgum terjadi secara signifikan seiring dengan peningkatan suhu evaporasi dari 60°C menjadi 70°C, namun pada suhu 80°C terjadi pola yang bervariasi tergantung pada kecepatan pengadukan. Fenomena penurunan kadar sukrosa ini terjadi karena hidrolisis sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa dipercepat oleh panas (Sukoyo, 2014). Pada kondisi suhu tinggi, ikatan glikosidik pada molekul sukrosa menjadi lebih mudah terpecah melalui proses hidrolisis yang dikatalisis oleh ion hidrogen (H^+) yang terdapat dalam nira sorgum yang memiliki pH 5,5. Semakin tinggi suhu, semakin besar energi kinetik molekul yang memungkinkan terjadinya tumbukan efektif antara molekul sukrosa dengan ion H^+ , sehingga laju hidrolisis meningkat.

Pada suhu 70°C dengan pengadukan 36 rpm, kadar sukrosa mencapai titik terendah (11,47%), yang mengindikasikan bahwa pada kondisi ini hidrolisis sukrosa berlangsung paling intensif. Hal ini sejalan dengan kadar gula pereduksi tertinggi yang juga diperoleh pada perlakuan yang sama (36,03%). Hubungan terbalik antara kadar sukrosa dan gula pereduksi ini mengkonfirmasi bahwa peningkatan gula pereduksi terutama berasal dari hidrolisis sukrosa, bukan dari sumber lain. Perhitungan konversi sukrosa menunjukkan bahwa sekitar 60-70% sukrosa awal telah terhidrolisis menjadi gula pereduksi selama proses evaporasi pada kondisi optimal. Namun demikian, pada suhu 80°C, kadar sukrosa tidak selalu menunjukkan penurunan yang konsisten. Pada perlakuan dengan pengadukan 26 rpm (21,66%) dan 48 rpm (24,11%), kadar sukrosa justru lebih tinggi dibandingkan pada suhu 70°C dengan pengadukan yang sama. Fenomena ini menunjukkan bahwa pada suhu 80°C, terjadi kompleksitas reaksi yang melibatkan tidak hanya hidrolisis sukrosa tetapi juga reaksi-reaksi lain yang

mempengaruhi kadar sukrosa terukur. Pada suhu yang sangat tinggi, sukrosa yang terhidrolisis menjadi glukosa dan fruktosa dapat mengalami reaksi lebih lanjut seperti degradasi termal dan reaksi Maillard, yang mengonsumsi gula pereduksi tanpa diikuti oleh penurunan sukrosa yang setara. Selain itu, pada suhu tinggi, laju reaksi Maillard antara gula pereduksi dengan asam amino meningkat secara signifikan, yang dapat menyebabkan penurunan gula pereduksi yang terukur tanpa disertai dengan peningkatan hidrolisis sukrosa yang proporsional. Hal ini sejalan dengan penelitian Han dkk. (2025) yang menemukan bahwa selama evaporasi vakum pada suhu tinggi terjadi isomerisasi glukosa dan fruktosa yang akan membentuk melanoidin, yang mengubah komposisi gula dan menghasilkan produk reaksi yang kompleks. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa perubahan komposisi gula selama evaporasi vakum sangat sensitif terhadap suhu operasi, di mana peningkatan suhu mempercepat pembentukan senyawa hasil reaksi Maillard yang mempengaruhi profil gula produk akhir.

Kecepatan pengadukan memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap kadar sukrosa gula cair sorgum, dengan pola yang jelas terlihat pada setiap taraf suhu evaporasi. Pada suhu 70°C, perlakuan dengan kecepatan pengaduk 36 rpm menghasilkan kadar sukrosa terendah (11,47%), sementara pengadukan 48 rpm menghasilkan kadar sukrosa tertinggi (26,23%). Perbedaan yang sangat besar ini menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan merupakan faktor dalam menentukan tingkat hidrolisis sukrosa selama proses evaporasi.

Pengadukan dengan kecepatan 36 rpm pada suhu 70°C menghasilkan kadar sukrosa terendah karena distribusi panas yang merata memungkinkan reaksi hidrolisis

sukrosa berlangsung secara optimal di seluruh bagian larutan. Agitasi yang baik mencegah terjadinya stratifikasi suhu dan memastikan bahwa seluruh molekul sukrosa mendapat paparan panas yang cukup untuk memutus ikatan glikosidik. Selain itu, pengadukan yang optimal juga memfasilitasi kontak antara molekul sukrosa dengan ion H^+ yang berperan sebagai katalis dalam reaksi hidrolisis asam, sehingga laju reaksi meningkat secara keseluruhan.

Pada kecepatan pengadukan yang terlalu rendah (26 rpm), distribusi panas menjadi kurang merata karena perpindahan panas konveksi yang terbatas. Kondisi ini menyebabkan bagian bawah larutan yang lebih dekat dengan sumber panas mengalami pemanasan berlebihan, sementara bagian permukaan masih bersuhu lebih rendah. Akibatnya, hidrolisis sukrosa terjadi secara tidak merata, dengan area bersuhu tinggi mengalami hidrolisis intensif namun diikuti oleh degradasi gula pereduksi melalui reaksi Maillard, sementara area bersuhu rendah masih mengandung sukrosa yang belum terhidrolisis. Hal ini menghasilkan kadar sukrosa total yang lebih tinggi dibandingkan pengadukan optimal. Penelitian oleh Dewi dkk. (2014) pada pembuatan gula merah tebu dengan evaporator vakum juga menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan mempengaruhi homogenitas larutan gula saat proses pemekatan berlangsung pada kondisi vakum, yang pada akhirnya mempengaruhi komposisi gula produk akhir. Penelitian tersebut menemukan bahwa kecepatan pengadukan yang optimal dapat menghasilkan produk dengan karakteristik kimia yang lebih baik, sementara pengadukan yang terlalu lambat atau terlalu cepat dapat menyebabkan masalah proses dan penurunan kualitas produk.

Interaksi antara suhu evaporasi dan kecepatan pengaduk menunjukkan bahwa kombinasi kedua faktor ini sangat menentukan tingkat hidrolisis sukrosa yang terjadi selama proses evaporasi. Pada suhu 60°C, kadar sukrosa pada semua perlakuan kecepatan pengaduk relatif tinggi (16,44-21,53%), yang mengindikasikan bahwa pada suhu rendah, energi panas yang tersedia belum cukup untuk mendorong hidrolisis sukrosa secara intensif, sehingga peran pengadukan dalam mendistribusikan panas menjadi kurang kritis. Laju reaksi hidrolisis pada suhu 60°C masih lambat, sehingga meskipun terjadi ketidakmerataan suhu akibat variasi pengadukan, dampaknya terhadap penurunan kadar sukrosa masih terbatas.

Pada suhu 70°C, perbedaan kecepatan pengaduk memberikan pengaruh yang paling nyata terhadap kadar sukrosa. Perlakuan dengan pengadukan 36 rpm menghasilkan kadar sukrosa terendah (11,47%), sementara pengadukan 48 rpm menghasilkan kadar sukrosa tertinggi (26,23%). Perbedaan sebesar 14,76% ini menunjukkan bahwa pada suhu sedang, pemilihan kecepatan pengaduk yang tepat menjadi sangat krusial untuk mengoptimalkan hidrolisis sukrosa. Pada kecepatan optimal 36 rpm, panas terdistribusi secara merata sehingga reaksi hidrolisis sukrosa berlangsung optimal di seluruh bagian larutan, menghasilkan kadar sukrosa yang sangat rendah dan kadar gula pereduksi yang tinggi. Pada suhu 80°C, pola pengaruh kecepatan pengaduk terhadap kadar sukrosa menjadi lebih kompleks. Perlakuan dengan pengadukan 36 rpm menghasilkan kadar sukrosa yang relatif rendah (14,09%), sementara pengadukan 48 rpm menghasilkan kadar sukrosa yang tinggi (24,11%). Pada suhu tinggi ini, pengadukan 36 rpm tetap efektif dalam mendorong hidrolisis sukrosa, namun tingkat hidrolisis yang dicapai (sukrosa 14,09%) masih lebih tinggi

dibandingkan pada suhu 70°C dengan pengadukan yang sama (11,47%). Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu 80°C, meskipun hidrolisis sukrosa berlangsung lebih cepat, namun konsumsi gula pereduksi melalui reaksi Maillard dan degradasi termal juga meningkat, sehingga kadar sukrosa yang terukur menjadi lebih tinggi karena sebagian gula pereduksi yang terbentuk telah terkonversi menjadi senyawa lain.

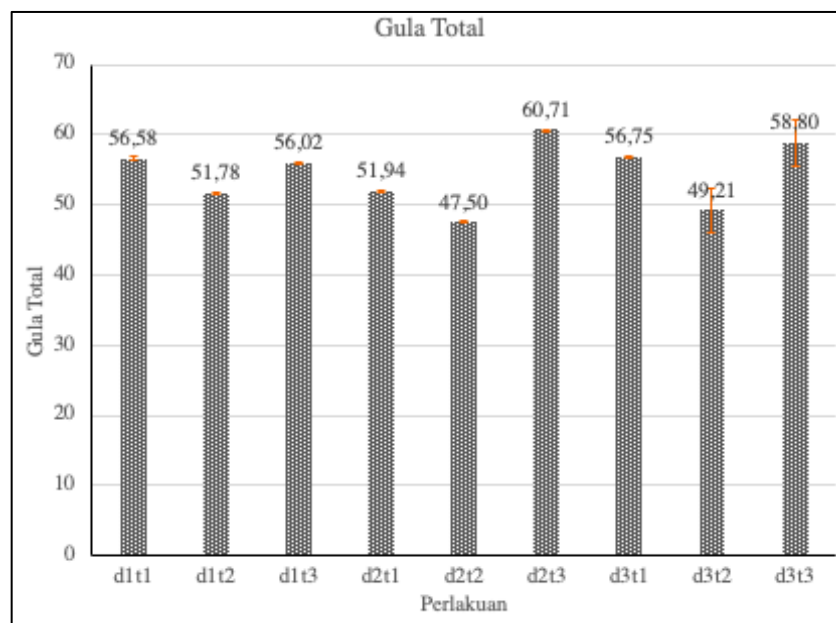
Perlakuan dengan pengadukan 26 rpm pada suhu 80°C menghasilkan kadar sukrosa 21,66%, yang lebih rendah dibandingkan pengadukan 48 rpm (24,11%) namun masih lebih tinggi dibandingkan pengadukan 36 rpm (14,09%). Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu tinggi, pengadukan yang terlalu lambat menyebabkan pemanasan lokal berlebihan yang mempercepat reaksi Maillard dan mengonsumsi gula pereduksi, sementara pengadukan yang terlalu cepat menyebabkan turbulensi yang menghambat hidrolisis sukrosa.

Interaksi antara suhu dan kecepatan pengaduk yang diamati pada penelitian ini menunjukkan bahwa untuk menghasilkan gula cair dengan kadar sukrosa yang rendah (yang berarti tingkat hidrolisis tinggi), perlu dipilih kombinasi perlakuan yang tepat. Perlakuan pada suhu 70°C dengan kecepatan pengaduk 36 rpm terbukti sebagai kombinasi terbaik karena menghasilkan kadar sukrosa terendah (11,47%) yang berbeda nyata dengan semua perlakuan lainnya.

4.2.7 Gula Total

Gula total merupakan parameter penting yang mencerminkan keseluruhan kandungan gula dalam produk, yang terdiri dari penjumlahan kadar gula pereduksi (glukosa) dan sukrosa. Parameter ini menjadi indikator utama kualitas gula cair karena

menentukan tingkat kemanisan, nilai nutrisi, serta potensi aplikasi produk. Berdasarkan hasil analisis statistik yang disajikan pada Tabel 13 dan Gambar 12, diketahui bahwa interaksi antara suhu evaporasi dan kecepatan pengaduk (DT) berpengaruh nyata terhadap kadar gula total gula cair sorgum. Nilai gula total yang diperoleh berkisar antara 47,50% hingga 60,71%, dengan pola yang sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi evaporasi.



Gambar 12. Bar Chart Uji Gula Total Gula Cair Sorgum.

Peningkatan suhu evaporasi secara umum menyebabkan peningkatan kadar gula total gula cair sorgum, terutama pada perlakuan dengan kecepatan pengadukan tertentu. Fenomena ini terjadi karena semakin tinggi suhu evaporasi, semakin banyak air yang menguap dari nira sorgum, sehingga seluruh komponen padatan terlarut termasuk gula menjadi semakin terkonsentrasi dalam volume larutan yang tersisa.

(Geankoplis, 2003). Proses penguapan air yang intensif pada suhu tinggi menyebabkan peningkatan konsentrasi gula total secara proporsional dengan jumlah air yang hilang.

Namun demikian, pola peningkatan gula total tidak selalu linear dengan peningkatan suhu karena adanya reaksi hidrolisis dan degradasi gula yang terjadi secara bersamaan. Pada suhu 70°C dengan kecepatan pengadukan optimal, terjadi penurunan kadar gula total yang signifikan meskipun proses evaporasi telah berlangsung. Penurunan ini disebabkan oleh hidrolisis sukrosa menjadi gula pereduksi yang sangat intensif pada kondisi tersebut, di mana sukrosa yang terhidrolisis menjadi glukosa dan fruktosa tidak sepenuhnya terukur sebagai gula total karena sebagian gula pereduksi yang terbentuk telah terdegradasi atau bereaksi dalam reaksi Maillard. Hal ini sejalan dengan hubungan terbalik antara kadar sukrosa dan gula pereduksi yang telah dibahas sebelumnya, di mana perlakuan dengan hidrolisis optimal menunjukkan kadar sukrosa terendah dan gula pereduksi tertinggi, namun gula totalnya justru paling rendah.

Pada suhu 80°C, kadar gula total menunjukkan variasi yang cukup besar tergantung pada kecepatan pengadukan. Perlakuan dengan pengadukan cepat menghasilkan gula total tertinggi, yang disebabkan oleh kombinasi kadar sukrosa yang masih tinggi dan kadar gula pereduksi yang cukup tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu 80°C dengan pengadukan cepat, proses hidrolisis sukrosa tidak berlangsung seintensif pada perlakuan dengan pengadukan optimal, sehingga sebagian besar sukrosa tetap bertahan dan berkontribusi pada tingginya gula total. Sebaliknya, perlakuan dengan pengadukan optimal pada suhu 80°C menghasilkan gula total yang lebih rendah karena hidrolisis sukrosa berlangsung lebih intensif.

Kecepatan pengadukan memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap kadar gula total gula cair sorgum, dengan pola yang berbeda pada setiap taraf suhu evaporasi. Pada suhu 70°C, perlakuan dengan kecepatan pengadukan cepat menghasilkan gula total tertinggi, sementara pengadukan optimal menghasilkan gula total terendah. Perbedaan yang sangat besar ini menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan merupakan faktor kunci dalam menentukan keseimbangan antara hidrolisis sukrosa dan retensi gula total dalam produk akhir. Pengadukan dengan kecepatan optimal pada suhu 70°C menghasilkan gula total terendah karena distribusi panas yang merata memungkinkan reaksi hidrolisis sukrosa berlangsung secara optimal di seluruh bagian larutan. Agitasi yang baik mencegah terjadinya stratifikasi suhu dan memastikan bahwa seluruh molekul sukrosa mendapat paparan panas yang cukup untuk memutus ikatan glikosidik, menghasilkan gula pereduksi yang kemudian dapat mengalami reaksi lebih lanjut seperti Maillard. Akibatnya, meskipun hidrolisis berlangsung intensif, sebagian gula yang terbentuk tidak terukur sebagai gula total karena telah berubah menjadi senyawa lain.

Pada kecepatan pengadukan cepat pada suhu 70°C, gula total mencapai nilai tertinggi. Fenomena ini menunjukkan bahwa pengadukan yang terlalu cepat justru menghambat hidrolisis sukrosa, sehingga sebagian besar sukrosa tetap bertahan dan berkontribusi pada tingginya gula total. Hal ini diduga disebabkan oleh turbulensi yang tinggi yang mengganggu kontak antara molekul sukrosa dengan katalis asam (ion H^+) yang diperlukan untuk reaksi hidrolisis. Selain itu, pengadukan cepat dapat menyebabkan terbentuknya pusaran (vortex) yang mempengaruhi kesetimbangan reaksi dan mengurangi efisiensi hidrolisis.

Pada suhu 60°C, perbedaan gula total antar perlakuan kecepatan pengaduk relatif kecil, yang mengindikasikan bahwa pada suhu rendah, energi panas yang tersedia belum cukup untuk mendorong hidrolisis sukrosa secara intensif, sehingga peran pengadukan dalam mempengaruhi komposisi gula menjadi kurang kritis. Sebaliknya, pada suhu 80°C, pengaruh kecepatan pengaduk terhadap gula total menjadi lebih bervariasi, menunjukkan kompleksitas reaksi yang terjadi pada suhu tinggi. Penelitian oleh Dewi dkk. (2014) pada pembuatan gula merah tebu dengan evaporator vakum juga menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan mempengaruhi homogenitas larutan gula saat proses pemekatan berlangsung pada kondisi vakum, yang pada akhirnya mempengaruhi kualitas akhir produk termasuk komposisi gula. Penelitian tersebut menemukan bahwa kecepatan pengadukan yang optimal dapat menghasilkan produk dengan karakteristik kimia yang lebih baik, sementara pengadukan yang terlalu lambat atau terlalu cepat dapat menyebabkan masalah operasional dan penurunan kualitas produk.

Interaksi antara suhu evaporasi dan kecepatan pengaduk menunjukkan bahwa kombinasi kedua faktor ini sangat menentukan kadar gula total produk akhir. Pada suhu 60°C, pengaruh kecepatan pengaduk terhadap gula total relatif kecil, menunjukkan bahwa pada suhu rendah, laju reaksi hidrolisis sukrosa masih lambat sehingga komposisi gula lebih ditentukan oleh konsentrasi awal daripada kondisi operasi evaporasi. Pada suhu 70°C, interaksi antara suhu dan kecepatan pengaduk menjadi sangat signifikan. Perlakuan dengan pengadukan optimal menghasilkan gula total terendah karena hidrolisis sukrosa berlangsung optimal, sementara pengadukan cepat menghasilkan gula total tertinggi karena hidrolisis sukrosa terhambat oleh turbulensi

yang berlebihan. Perbedaan yang besar ini menunjukkan bahwa pada suhu sedang, pemilihan kecepatan pengaduk yang tepat sangat krusial untuk mengontrol komposisi gula produk akhir. Pada suhu 80°C, pola pengaruh kecepatan pengaduk terhadap gula total menjadi lebih kompleks. Perlakuan dengan pengadukan optimal menghasilkan gula total yang rendah, yang mengindikasikan bahwa pada suhu tinggi, hidrolisis sukrosa tetap berlangsung intensif meskipun dengan pengadukan optimal. Sementara itu, perlakuan dengan pengadukan cepat menghasilkan gula total yang lebih tinggi, menunjukkan bahwa turbulensi yang tinggi tetap dapat menghambat hidrolisis sukrosa meskipun pada suhu tinggi. Perlakuan dengan pengadukan lambat menghasilkan gula total yang berada di antara kedua perlakuan tersebut.

Interaksi antara suhu dan kecepatan pengaduk juga mempengaruhi stabilitas gula total selama penyimpanan. Menurut Hartel (2001), gula cair dengan kadar gula total tinggi dan komposisi gula yang seimbang (antara sukrosa dan gula pereduksi) memiliki stabilitas yang lebih baik karena gula pereduksi menghambat kristalisasi sukrosa. Perlakuan dengan gula total tinggi namun didominasi oleh sukrosa mungkin lebih rentan terhadap kristalisasi dibandingkan perlakuan dengan gula total sedang namun komposisi gula yang lebih seimbang. Nilai gula total yang diperoleh pada seluruh perlakuan (47,50-60,71%) menunjukkan bahwa produk gula cair sorgum memiliki kandungan gula yang cukup tinggi dan berpotensi untuk digunakan sebagai bahan baku berbagai produk pangan.

Perlakuan terbaik pada suhu 80°C dengan kecepatan pengaduk 36 rpm yang merupakan perlakuan terbaik untuk parameter total padatan terlarut dan kadar air, menghasilkan gula total dengan komposisi gula pereduksi yang cukup tinggi dan

sukrosa yang terkendali. Komposisi ini menunjukkan bahwa gula cair sorgum yang dihasilkan memiliki karakteristik yang khas dengan dominasi gula pereduksi yang cukup tinggi, yang memberikan keunggulan dalam hal pencegahan kristalisasi dan stabilitas produk selama penyimpanan. Hal ini sangat penting untuk produk gula cair yang diharapkan memiliki umur simpan yang panjang tanpa mengalami perubahan fisik seperti kristalisasi atau pengentalan yang berlebihan.

4.2.3 Respon Mikrobiologi

Pengujian mikrobiologi pada produk gula cair sorgum dilakukan untuk menjamin keamanan pangan produk yang dihasilkan. Parameter yang diuji adalah Angka Lempeng Total (ALT) atau *Total Plate Count* (TPC), yang merupakan indikator umum untuk mengetahui tingkat kontaminasi mikroba pada produk pangan. Semakin rendah nilai ALT, semakin baik tingkat higienitas produk tersebut. Pengujian ini mengacu pada metode yang ditetapkan oleh SNI untuk memastikan bahwa produk gula cair sorgum aman untuk dikonsumsi dan telah memenuhi standar keamanan pangan yang berlaku. Acuan yang digunakan dalam penelitian ini adalah SNI 01-2978-1992 tentang sirup glukosa, yang menetapkan batas maksimum cemaran mikroba untuk produk gula cair sebesar 5×10^2 CFU/g (500 koloni per gram).

Berdasarkan hasil pengujian, nilai ALT yang diperoleh pada sampel gula cair sorgum adalah $4,09 \times 10^2$ CFU/g. Nilai ini diperoleh dari perhitungan berdasarkan jumlah koloni yang tumbuh pada tiga tingkat pengenceran yang berbeda, yaitu 25 koloni pada pengenceran 10^{-1} , 15 koloni pada pengenceran 10^{-2} , dan 5 koloni pada pengenceran 10^{-3} . Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus standar

perhitungan Angka Lempeng Total yang memperhitungkan total koloni dari seluruh pengenceran yang dapat dihitung serta faktor pengenceran terkait.

Ketika dibandingkan dengan persyaratan mutu berdasarkan SNI 01-2978-1992 yang menetapkan batas maksimum ALT untuk sirup glukosa sebesar 5×10^2 CFU/g, hasil yang diperoleh yaitu $4,09 \times 10^2$ CFU/g masih berada di bawah batas maksimum yang ditetapkan. Selisih antara hasil ALT dengan batas maksimum adalah sekitar 91 CFU/g, yang menunjukkan bahwa produk ini memenuhi syarat mutu mikrobiologi, meskipun masih berada pada kisaran yang cukup dekat dengan ambang batas. Dengan demikian, produk gula cair sorgum yang dihasilkan pada penelitian ini telah memenuhi syarat mutu mikrobiologi berdasarkan SNI 01-2978-1992.

Hasil ini menunjukkan bahwa proses yang diterapkan, mulai dari ekstraksi nira, penyaringan, hingga evaporasi vakum, telah mampu menghasilkan produk dengan tingkat kontaminasi mikroba yang rendah. Proses evaporasi vakum yang dilakukan pada suhu 60–80°C berperan penting dalam menurunkan jumlah mikroba, karena proses pemanasan pada suhu tersebut dapat menginaktivasi sebagian besar mikroorganisme kontaminan, terutama bakteri vegetatif. Selain itu, proses evaporasi yang dilanjutkan dengan pemekatan hingga mencapai total padatan terlarut yang tinggi ($TPT \geq 65$ °Brix) juga menurunkan aktivitas air (A_w) produk. Nilai A_w gula cair sorgum yang berkisar antara 0,90–0,92 pada penelitian ini menunjukkan bahwa air yang tersedia bagi mikroorganisme sudah terbatas, sehingga menghambat pertumbuhan mikroba, terutama bakteri pembusuk dan patogen. Rendahnya nilai ALT ini juga mengindikasikan bahwa bahan baku nira sorgum yang digunakan masih dalam kondisi segar dan proses penanganan selama produksi dilakukan secara higienis.

Meskipun nilai ALT yang diperoleh telah memenuhi standar SNI, angka $4,09 \times 10^2$ CFU/g masih berada di ambang batas yang cukup dekat dengan batas maksimum (500 CFU/g). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun produk aman untuk dikonsumsi, masih terdapat ruang untuk perbaikan dalam hal sanitasi dan higienitas proses produksi. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi peningkatan jumlah mikroba selama proses produksi antara lain adalah kebersihan peralatan, kualitas air yang digunakan, serta kondisi penyimpanan nira segar sebelum diolah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini akan menguraikan mengenai: (5.1) Kesimpulan dan (5.2) Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai karakteristik gula cair sorgum yang dipengaruhi oleh variasi suhu evaporasi dan kecepatan pengaduk pada *vacuum evaporator*, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil penelitian pendahuluan menunjukkan bahwa nira sorgum segar yang digunakan memiliki nilai pH sebesar 5,5 dan total padatan terlarut awal sebesar 14 °Brix, yang mengindikasikan nira masih dalam kondisi segar dan belum mengalami fermentasi signifikan.
2. Interaksi antara variasi suhu evaporasi dan kecepatan pengaduk berpengaruh nyata terhadap total padatan terlarut, viskositas, kadar air, kadar gula reduksi, dan kadar gula total gula cair sorgum. Nilai TPT tertinggi diperoleh pada perlakuan d3t2 (suhu 80°C, kecepatan pengaduk 36 rpm) sebesar 74,10 °Brix, yang telah memenuhi standar mutu gula cair.
3. Peningkatan suhu evaporasi menyebabkan penurunan nilai kecerahan (L^*) dan peningkatan viskositas gula cair sorgum akibat reaksi Maillard dan karamelisasi yang terjadi selama proses pemanasan. Perlakuan d1t2 (suhu 60°C, kecepatan 36 rpm) menghasilkan viskositas terendah (282,0 cP).

4. Perlakuan terbaik diperoleh pada suhu evaporasi 80°C dengan kecepatan pengaduk 36 rpm (d3t2), yang menghasilkan gula cair sorgum dengan karakteristik: total padatan terlarut 74,10 °Brix, kadar air 18,02%, kadar gula reduksi 35,13%, viskositas 995 cP, warna cokelat kekuningan dengan nilai $L^*=33,04$; $a^*=2,96$; $b^*=16,61$.
5. Produk gula cair sorgum yang dihasilkan telah memenuhi standar mutu SNI 01-2978-1992 untuk parameter kadar air (maksimal 20%) dan cemaran mikroba (ALT $4,09 \times 10^2$ CFU/g masih di bawah batas maksimum 5×10^2 CFU/g).
6. Secara keseluruhan, teknologi *Vacuum Evaporator* dengan pengendalian suhu dan agitasi yang optimal (suhu 80°C, kecepatan pengaduk 36 rpm) mampu menghasilkan gula cair sorgum dengan karakteristik fisik, kimia, dan mikrobiologi yang baik, sehingga berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan baku berbagai produk pangan dan alternatif pemanis alami.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan untuk pengembangan lebih lanjut antara lain:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai pengaruh variasi waktu evaporasi dan tekanan vakum terhadap karakteristik gula cair sorgum, sehingga dapat diperoleh kondisi proses yang lebih optimal.

2. Disarankan untuk melakukan penelitian tentang penambahan bahan penjernih (seperti arang aktif, bentonit, atau zeolit) pada nira sorgum sebelum proses evaporasi untuk menghasilkan gula cair dengan kejernihan dan warna yang lebih baik.
3. Perlu dilakukan kajian tentang stabilitas dan umur simpan gula cair sorgum selama penyimpanan pada berbagai kondisi kemasan dan suhu, sehingga dapat diketahui batas waktu kadaluarsa produk.
4. Penelitian lanjutan mengenai formulasi gula cair sorgum dengan berbagai konsentrasi pada produk pangan (seperti minuman, selai, atau produk bakeri) perlu dilakukan untuk mengeksplorasi potensi aplikasinya secara lebih luas.
5. Perlu dilakukan analisis lanjutan terhadap kandungan mineral, senyawa antioksidan, dan profil asam amino pada gula cair sorgum untuk mengetahui potensi fungsionalnya sebagai pangan kesehatan.
6. Disarankan untuk melakukan studi skala pilot atau uji coba produksi skala industri guna mengevaluasi kelayakan ekonomi dan teknis produksi gula cair sorgum dengan teknologi *vacuum evaporator*.
7. Perlu dilakukan penelitian mengenai pemanfaatan ampas (bagasse) batang sorgum hasil ekstraksi sebagai produk olahan lanjutan (seperti pakan ternak atau bahan baku bioenergi) sehingga mendukung konsep pertanian tanpa limbah (*zero waste*) pada komoditas sorgum.

DAFTAR PUSTAKA

- Aghata, R. J. A. (2018). **Pengaruh suhu dan lama proses evaporasi vakum terhadap karakteristik fisikokimia dan organoleptik gula cair sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)**. Skripsi sarjana, Universitas Brawijaya.
- Ali, R., El-Gendy, N. S., & Moustafa, Y. M. (2018). **Optimization of Sweet Sorghum Syrup Production Using Response Surface Methodology**. Egyptian Journal of Petroleum.
- Assah, Y. F. dan Indriaty, F. (2018). **Pengaruh lama penyimpanan terhadap mutu gula cair dari nira aren**. *Jurnal Penelitian Teknologi Industri*. 10(1): 1-9.
- Amanda, R., Sulaeman, A., & Sinaga, T. (2022). **Physical and Sensory Characteristics of Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Syrup with Different Concentration Processes**. *Journal of Food Science and Technology*.
- Asikin, Y., Nakaza, Y., Maeda, G., Kaneda, H., Takara, K., & Wada, K. (2023). **Evaporation temperature alters physicochemical characteristics and volatile Maillard reaction products of non-centrifugal cane sugar (NCS)**. *Applied Sciences*, 13(11).
- AOAC. (2005). **Official Methods of Analysis of AOAC International**. Edition. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg.
- AOAC. (2016). **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 20th Edition. Association of Official Analytical Chemists, Rockville.

- Bantacut, T., & Novitasari. (2016). **Energy and Water Self-Sufficiency Assessment of the White Sugar Production Process in Indonesia Using a Complex Mass Balance Model**
- Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) RI. (2024). **Peraturan BPOM tentang Kategori Pangan (Kategori Gula dan Sirup)**. Jakarta: BPOM RI.
- Badan Standardisasi Nasional. (1992). **Cara Uji Gula (SNI 01-2892-1992)**. Jakarta: BSN.
- Bayu, A., Rahayuningsih, S., & Santoso, B. (2017). **Karakteristik Fisikokimia Gula Cair dari Nira Sorgum Manis**. Jurnal Teknologi dan Industri Pangan.
- Cahyadi, W., Darniadi, S., (2024). **Profil Nutrisi dan Karakteristik Warna Gula Sorgum**. Pasundan Food Technology Journal.
- Cristina, B., Gheorghe, M., dan Maria, D. A. (2018). **Evaluation of sugar content in stem juice from sweet sorghum hybrids grown in southwest of Romania**. Annals of the University of Craiova-Agriculture, Montanology, Cadastre Series. Vol. 47(2).
- Dewi, T. K., Maryanto, & Harimurti, S. (2014). **Analisis Densitas dan Viskositas Produk Olahan Nira Sorgum**. Jurnal Rekayasa Proses.
- Damodaran, S., & Parkin, K. L. (Eds.). (2017). **Fennema's food chemistry (5th ed.)**. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315372914>
- Demafelis, R. B., Barroga, S. Q., Movillon, J. L., Elegado, F. B., Carpio, E. V., Baticados, E. J. N., & Icao, F. C. (2013). **Potential of Bioethanol Production from Sweet Sorghum in the Philippines: An Income Analyses for Farmers and Distilleries**. Sugar Tech, 15(3), 225-231.

- Direktorat Jenderal Perkebunan. (1996). **Statistik Perkebunan Indonesia: Tebu dan Tanaman Pemanis Lainnya**. Jakarta: Departemen Pertanian Republik Indonesia.
- Duncan, R. R., Miller, F. R., & Bockholt, A. J. (1980). **Inheritance of tiller regrowth in ratooned sorghum**. *Canadian Journal of Plant Science*, 60(2), 473-478
- Effendi, S. (2012). **Teknologi pengolahan dan pengawetan pangan**. Alfabeta.
- Fennema, O. R. (1996). **Food chemistry (3rd ed.)**. Marcel Dekker.
- Farahnaky, A., Mardani, M., Mesbahi, G., & Majzoobi, M. (2016). **Some Physicochemical Properties of Date Syrup, Concentrate, and Liquid Sugar in Comparison with Sucrose Solutions**. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18(3), 657-668.
- Fitri, A. (2019). **Studi Pembuatan Gula Cair dari Tepung Ubi Jalar Cilembu (Ipomea batatas (L) Lam) dengan Hidrolisis Asam. (Skripsi)**. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Medan.
- Hamdani, M., S. Singgih, dan Suarni. (1998). **Studi sifat agronomik dan potensi hasil beberapa galur dan varietas sorgum manis**. *Jurnal Tanaman Tropika* 1(2): 108–113.
- Heldman, D. R. (1992). **Handbook of food engineering**. Marcel Dekker.
- Han, M., Zhao, H., Liu, Z., Liu, J., Liu, X., Hang, F., Li, K. dan Xie, C. (2025) **'Color development characteristic and kinetic modeling of Maillard reaction in membrane-clarified sugarcane juice during vacuum evaporation process'**, *Foods*, 14(12), hal. 2136.

Hartel, R.W. (2001) **Crystallization in Foods**. Aspen Publishers Inc., Gaithersburg.
DOI:[10.1017/9781139026949.015](https://doi.org/10.1017/9781139026949.015)

Hidayat, S. A. (2021). **Penurunan Kadar Air Madu Hutan Sumatra Menggunakan Evaporator Vakum Ditinjau Dari Total Gula, Konduktivitas Elektrik, Intensitas Warna Dan Aktivitas Antioksidan**. Skripsi. Malang: Fakultas Peternakan, Universitas Brawijaya.

Irwan, W., Wahyudin, A., Susilawati, R., & Nurmala, T. (2023). **morfologi akar, batang, dan daun sorgum manis**.

Kementrian Perindustrian Indonesia. (2017). **Data Kebutuhan dan Produksi Gula Nasional**.

Lelya, N. (2014). **Pengolahan Nira Segar Menjadi Gula Cair Aren**. Skripsi/Jurnal Teknologi Pertanian.

Muchtadi, T. R, dan Fitriyono A. 2010. **Teknologi Proses Pengolahan Pangan Alfabeta**. Bandung.

Nst, Z., Ginting, E. B., Romatua, D. G., & Fahdi, F. (2019). **Analisis Gula Metode Luff Schoorl pada Produk Pangan**. Jurnal Kimia Analitik.

Noerhartati, E., dkk. (2013). **Teknik Ekstraksi Nira Batang Sorgum**. Jurnal Inovasi Teknologi.

Nimalaratne, C., dkk. (2020). **Composition and bioactivity of maple syrup**. Journal of Food Science.

Nurcholis & Puspitaningrum. (2019). **Pemanfaatan Batang Sorgum sebagai Sumber Alternatif Gula**. Jurnal Teknologi Pangan.

- Oktem. (2024). **Sugar Content Analysis in Sweet Sorghum Stalks for Sweetener Development.**
- Puspitasari, G., Kastono, D., dan Waluyo, S. (2012). **Pertumbuhan dan Hasil Sorgum Manis (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Tanam Baru dan Ratoon pada Jarak Tanam Berbeda.** Jurnal Vegetalika. Vol. 1(4): 18-29
- Pontoh, J. (2013). **Metode Penentuan Mutu Gula Aren Cair.** Jurnal Ilmiah Sains, 13(1), 43-49.
- Priatna, A., dkk. (2017). **Stabilitas dan Umur Simpan Gula Cetak Selama Penyimpanan.** Jurnal Pascapanen.
- Nuraisyah. (2023). **Efisiensi Rendemen Gula Cair Berbasis Evaporasi Vakum.** Jurnal Teknik Pangan.
- Ratna, D., & Yuliastiani, R. (2015). **Perbandingan Karakteristik Fisikokimia Gula Cetak dan Gula Cair.** Jurnal Pangan dan Agroindustri.
- Rahman, M. H., & Yuwono, S. S. (2019). **Pengaruh konsentrasi zeolit dan suhu preheating dalam proses penjernihan nira sorgum sebagai bahan baku pembuatan gula cair.** Jurnal Pangan dan Agroindustri, 7(1), 40–48.
- Sumarno, & Karsono, S. (1996). **Sorgum: pengembangan produksi sorgum di dunia dan Pengembangannya.** Balai penelitian kacang-kacangan dan umbi.
- Simpson, dkk. (2022). **Production and properties of glucose syrup from starch hydrolysis.** Journal of Carbohydrate Chemistry.
- Siregar, D. S., dan Mardiyah, A. (2018). **Uji Adaptasi Beberapa Varietas Sorgum (*Sorghum bicolor* L.)**

- Safitri, N. (2017). **Karakteristik Fisikokimia dan Mikrobiologi Nira Aren (Arenga pinnata) Selama Penyadapan dan Penyimpanan.**
- Sasongkowati, R. (2019). **Warning: Gula, Garam, dan Lemak!.** Temanggung: Desa Pustaka Indonesia
- Sukoyo, A. dkk (2014). **Analisis pengaruh suhu pengolahan dan derajat Brix terhadap karakteristik fisikokimia dan sensoris gula kelapa cair dengan metode pengolahan vakum.** Jurnal Bioproses Komoditas Tropis.
- Soetedjo, J. N. M., & Suharto, I. (2008). **Perancangan dan uji coba alat evaporator nira aren**
- Sabanci, S., & Icier, F. (2017). **Applicability of ohmic heating assisted vacuum evaporation for concentration of sour cherry juice.** Journal of Food Engineering, 199, 262–270
- Tanwar, R., Panghal, A., Chaudhary, G., Kumari, A., dan Chhikara, N. (2023). **Nutritional, Phytochemical and Functional Potential of Sorghum: A Review.** Food Chemistry Advances
- Toledo, R. T. (2007). **Fundamentals of Food Process Engineering (3rd ed.).** New York: Springer.
- USDA. (2008). **Classification for Kingdom Plantae Down to Species Sorghum bicolor (L.) Moench.**
- Varucha, dkk. (2016). **Standar Konsentrasi dan Mutu Sirup Glukosa.** Jurnal Pangan.
- Victor, I., & Orsat, V. (2013). **Karakteristik Fisik dan Sensori Gula Cair Non-Rafinasi.** Journal of Food Engineering.

LAMPIRAN

1. **Posedur Analisis Respon Fisik**

1. Prosedur Analisis Total Padatan Terlarut (Bayu, dkk. 2017)

Tujuan : Untuk mengetahui konsentrasi total padatan terlarut (terutama kandungan gula) pada bahan pangan, seperti nira sorgum manis dan produk gula cair, yang dinyatakan dalam satuan derajat Brix ($^{\circ}\text{Brix}$).

Prinsip : Berdasarkan prinsip pembiasan cahaya (refraksi). Semakin tinggi konsentrasi padatan terlarut dalam suatu larutan, semakin besar indeks bias cahaya yang melewatinya. Perubahan indeks bias ini kemudian dikonversi dan dibaca secara langsung pada skala refraktometer.

Prosedur :

1. Pastikan alat *hand refractometer* dalam keadaan bersih. Bersihkan bagian kaca prisma menggunakan aquadest untuk menghilangkan sisa residu pengujian sebelumnya.
2. Keringkan permukaan prisma secara perlahan menggunakan kertas tisu atau tisu lensa dengan usapan searah agar kaca tidak tergores.
3. Lakukan kalibrasi awal (jika diperlukan) dengan meneteskan aquadest dan memastikan skala menunjukkan angka nol (0°Brix). Keringkan kembali prisma setelah kalibrasi.
4. Ambil sampel cairan (nira sorgum atau gula cair) menggunakan pipet tetes.
5. Teteskan 1 hingga 2 tetes sampel tepat di atas permukaan kaca prisma refraktometer.

6. Tutup *cover* (kaca penutup) prisma secara perlahan agar cairan sampel menyebar secara merata ke seluruh permukaan prisma tanpa membentuk gelembung udara.
7. Arahkan refraktometer ke sumber cahaya atau di dalam ruangan yang terang.
8. Amati nilai padatan terlarut melalui lensa okuler dan catat angka derajat Brix ($^{\circ}\text{Brix}$) yang ditunjukkan oleh garis batas antara area gelap (biru) dan terang (putih) pada skala.

2. Prosedur Uji Warna (Cahyadi *dkk.*, 2024)

Tujuan : Untuk mengukur dan menentukan intensitas warna pada sampel nira sorgum maupun gula cair secara objektif berdasarkan parameter kecerahan (L^*), kemerahan (a^*), dan kekuningan (b^*).

Prinsip : Berdasarkan pengukuran pantulan (reflektansi) atau transmisi cahaya dari sampel yang ditangkap oleh sensor alat *colorimeter* atau *chromameter*. Nilai L^* menunjukkan tingkat kecerahan (*lightness*) dari 0 (hitam) hingga 100 (putih). Nilai a^* menunjukkan warna kemerahan (positif) atau kehijauan (negatif). Nilai b^* menunjukkan warna kekuningan (positif) atau kebiruan (negatif).

Prosedur :

1. Pastikan instrumen *Colorimeter* atau *Chromameter* telah terhubung dengan sumber arus listrik dan nyalakan alat, biarkan beberapa saat hingga sistem stabil.

2. Lakukan kalibrasi standar pada alat menggunakan pelat putih kalibrasi (*white calibration plate*) yang disediakan bawaan alat hingga angka menunjukkan nilai standar putih alat tersebut.
3. Siapkan sampel cairan (nira sorgum murni atau produk gula cair hasil evaporasi).
4. Tuangkan sampel cairan secukupnya ke dalam wadah pengujian (kuvet transparan, cawan petri bening, atau *sample cup* khusus alat) hingga tinggi sampel cukup menutupi dasar wadah secara merata dan tidak ada gelembung udara.
5. Tempatkan wadah berisi sampel tepat di atas atau di bawah area penembakan sensor cahaya (*measuring port*) pada alat pengukur warna.
6. Lakukan pengukuran dengan menekan tombol *measure* atau tembak pada alat.
7. Amati dan catat nilai parameter warna L^* , a^* , dan b^* yang muncul pada layar *display* alat.
8. Ulangi prosedur pengukuran minimal sebanyak 3 kali (triplo) pada sampel yang sama untuk mendapatkan nilai rata-rata uji warna yang akurat dan representatif.

3. Prosedur Analisis Viskositas (Amanda, dkk. 2022)

Tujuan: Untuk mengukur tingkat kekentalan (resistansi aliran) dari sampel nira sorgum dan produk gula cair dalam satuan *centipoise* (cP).

Prinsip: Pengukuran jumlah hambatan atau torsi yang diperlukan untuk memutar sebuah *spindle* (poros pengaduk) pada kecepatan tertentu di dalam sampel cair. Semakin kental cairan, semakin besar hambatan yang terbaca pada alat.

Prosedur:

1. Siapkan alat Viskometer Brookfield dan pastikan posisi alat sudah datar (*leveling*) dengan melihat posisi gelembung udara pada *waterpass*.
2. Tuangkan sampel (nira atau gula cair) ke dalam *beaker glass* sebanyak 200 mL. Pastikan tidak ada gelembung udara yang terperangkap di dalam cairan kental.
3. Pemilihan Spindle:
 - Untuk nira sorgum (encer): Gunakan *spindle* nomor 61 dengan kecepatan 100 rpm (sesuai referensi).
 - Untuk gula cair (kental): Gunakan nomor *spindle* yang lebih besar (misal nomor 62, 63, atau 64) dan sesuaikan kecepatan putarnya agar nilai persentase torsi pada alat berada di rentang 10% – 90% untuk hasil yang akurat.
4. Pasang *spindle* yang terpilih pada poros alat dengan cara memutar ke arah kiri (ulir kiri). Lakukan dengan hati-hati sambil menahan poros alat agar tidak rusak.
5. Turunkan kepala viskometer secara perlahan hingga *spindle* tercelup ke dalam sampel tepat pada batas garis takikan di batang *spindle*. Pastikan posisi *spindle* berada tepat di tengah-tengah *beaker glass*.
6. Nyalakan alat dan atur nomor *spindle* serta kecepatan (*speed*) yang digunakan pada layar alat.
7. Tekan tombol "ON" atau "Motor On" untuk mulai memutar *spindle*.
8. Tunggu hingga angka pada layar stabil, kemudian baca dan catat nilai viskositas yang muncul dalam satuan cP.

9. Tekan tombol "*OFF*", naikkan kepala alat, dan segera bersihkan *spindle* dari sisa gula cair menggunakan air hangat dan tisu agar tidak mengeras dan lengket.

2. **Prosedur Analisis Respon Kimia**

1. **Prosedur Analisis Kadar Air Metode Destilasi (AOAC, 2005)**

Tujuan : Untuk menetapkan jumlah air dalam kerupuk kacang roay melalui cara dikeringkan sebagai faktor yang berpengaruh pada stabilitasnya.

Prinsip : Berdasarkan pemanasan bahan dalam lemari pengering pada 105°C, pengurangan bobot dianggap sebagai kandungan air yang terdapat dalam bahan.

Prosedur :

1. Pasang alat destilasi (Tabung penerima Dean Stark)
2. Timbang tepat bahan yang telah dihaluskan menghasilkan kadar air 2-4 ml (sebaiknya dilakukan pendahuluan seperti metode pengeringan) lalu masukan ke dalam labu dasar bundar.
3. Tambahkan toluen secukupnya hingga bahan dapat terendam seluruhnya dan tambahkan pula batu didih.
4. Isikan tabung penampung berskala dengan toluen melalui kondensor hingga tepat di lubang untuk pengisian.
5. Lakukan pemanasan dengan hati-hati $\pm$ 15 menit (Refluks dilengkapi pendingin kondensor).
6. Setelah toluen mulai mendidih, perhatikan kecepatan menetes destilat mulai 2 – 3 tetes/detik, kemudian 4 tetes/detik.
7. Percobaan dihentikan jika kira-kira tidak ada lagi penambahan volume air pada

tabung penampung berskala.

8. Cuci kondensor dengan toluen, destilasi dilanjutkan lagi selama 5 menit.
9. Biarkan lapisan air dan toluen dalam tabung penampung, setelah keadaan dingin dan memisah sempurna kadar air dapat terbaca.
10. Hitung kadar air dalam % v/b. Rumus :

2. Prosedur Analisis Kadar Gula Reduksi Metode LuffSchoorl (AOAC, 2005)

Tujuan : Untuk mengetahui kadar gula sebelum dan sesudah inversi sehingga dapat diketahui kadar disakarida, kadar polisakarida dan gula total pada bahan pangan pada bahan pangan.

Prinsip : Berdasarkan gula reduksi beraksi dengan ion Cu^{2+} berlebih membentuk endapan Cu_2O pada pemanasan dalam waktu tertentu, kelebihan Cu^{2+} direaksikan dengan KI dalam suasana asam I_2 yang terbentuk dititrasi dengan larutan tiosulfat baku menggunakan indikator kanji.

Prosedur :

a. Pembakuan Larutan Natrium Tiosulfat

1. Timbang dan teliti 50 gram KIO_3 (yang telah dikeringkan dalam oven 120°C selama 1 jam) masukan kedalam erlenmeyer
2. Tambahkan 25 ml air aduk sampai larut sempurna
3. Tambahkan larutan 10 ml larutan KI 20 % dan 25 ml larutan H_2SO_4 6 N tutup dan biarkan selama 5 menit ditempat yang gelap.

4. Titrasi dengan larutan Natrium Tiosulfat sampai terbentuk warna kuning muda, tambahkan 25 ml larutan kanji
 5. Titrasi dilanjutkan sampai warna biru tepat hilang
 6. Hitung normalitas larutan Natrium Tiosulfat baku
- b. Penentuan kadar gula reduksi sebelum inversi
1. Timbang 2-5 gram sampel yang telah dihancurkan masukan kedalam labu takar 100 ml tambahkan aquadest sampai dengan tanda batas
 2. Sediakan 2 buah erlenmeyer pipet masing-masing 10 ml larutan percobaan 10 ml air sebagai blanko
 3. Pipet 10 ml larutan Luff Schoorl aduk sampai homogen
 4. Refluks selama 10 menit diatas penangas air (selama pemanasan permukaan air mendidih selalu berada sekitar 2 cm diatas permukaan cairan dalam erlenmeyer
 5. Dinginkan segera dengan air dingin yang mengalir sampai dingin
 6. Tambahkan 5 ml larutan asam sulfat 6 N aduk sampai homogen
 7. Tambahkan 1,5 gram KI aduk sampai semua endapan larut
 8. Titrasi dengan larutan Natrium Tiosulfat baku sampai terbentuk warna kuning muda, tambahkan 2,5 ml larutan kanji
 9. Titrasi dilanjutkan sampai warna biru tepat hilang
 10. Catat volume larutan natrium tiosulfat baku yang di butuhkan untuk titrasi larutan percobaan dan blanko
- c. Penentuan Kadar Gula Reduksi Setelah Inversi

1. Pipet tepat 50 ml larutan percobaan untuk penentuan gula inversi, masukan kedalam labu takar 100 ml
2. Tambahkan 10 ml larutan HCl 9,5 N
3. Panaskan dalam penangas air pada suhu 70-80 °C selama 15 menit
4. Dinginkan segera dalam air mengalir, tambahkan 3 tetes indikator phenoptalie
5. Netralkan dengan penambahan sedikit demi sedikit larutan NaOH 10 N sampai membentuk warna merah muda
6. Tambahkan air hingga tepat batas lalu kocok sampai homogen
7. Didapat larutan percobaan
8. Sediakan 2 buah erlenmeyer pipet masing-masing 10 ml larutan percobaan tersebut dan air sebagai blanko
9. Pipet 10 ml larutan Luff Schoorls aduk sampai homogen
10. Refluks selama 10 menit diatas penangas air (selama pemanasan permukaan air mendidih selalu berada sekitar 2 cm diatas permukaan cairan dalam erlenmeyer
11. Dinginkan segera dengan air dingin yang mengalir sampai dingin
12. Tambahkan 1 gram KI aduk sampai semua endapan larut
13. Kelebihan Cu^{2+} dilanjutkan dengan titrasi
14. Titrasi dengan larutan Natrium tiosulfat baku sampai terbentuk warna kuning muda, tambahkan 1 ml larutan kanji
15. Titrasi dilanjutkan sampai warna biru tepat hilang
16. Catat volume larutan natrium tiosulfat baku yang dibutuhkan untuk

titrasi larutan percobaan dan blanko

Rumus :

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb - Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$Kadar\ gula\ sebelum\ inverse\ (\%) = \frac{mg\ gula\ (tabel) \times Fp}{Ws \times 1000} \times 100$$

$$Kadar\ gula\ setelah\ inverse\ I\ (\%) = \frac{mg\ gula\ (tabel) \times Fp}{Ws \times 1000} \times 100$$

$$Kadar\ gula\ setelah\ inverse\ II\ (\%) = \frac{mg\ gula\ (tabel) \times Fp}{Ws \times 1000} \times 100$$

$$Kadar\ disakarida\ (sukrosa) = [(\%gula\ setelah\ inverse\ I - \%gula\ sebelum\ inverse) 0,95]$$

$$Kadar\ Pati = [(\%gula\ setelah\ inverse\ II - \%gula\ setelah\ inverse\ I) 0,90]$$

$$Kadar\ Gula\ Total = \%gula\ sebelum\ inverse + \%kadar\ sukrosa$$

3. Prosedur Analisis Kadar Sukrosa (AOAC, 2005)

Tujuan : Untuk mengetahui kadar gula sebelum dan sesudah inversi sehingga dapat diketahui kadar disakarida, kadar polisakarida dan gula total pada bahan pangan pada bahan pangan.

Prinsip : Berdasarkan gula reduksi beraksi dengan ion Cu^{2+} berlebih membentuk endapan Cu_2O pada pemanasan dalam waktu tertentu, kelebihan Cu^{2+} direaksikan dengan KI dalam suasana asam I_2 yang terbentuk dititrasi dengan larutan tiosulfat baku menggunakan indikator kanji.

Prosedur :

a. Penentuan kadar gula reduksi sebelum inversi (dengan L.S. berdasarkan sisa Cu^{2+} terukur)

1. Timbang 2-5 gram sampel yang telah dihancurkan masukan kedalam labu takar 100 ml tambahkan aquadest sampai dengan tanda batas
2. Sediakan 2 buah erlenmeyer pipet masing-masing 10 ml larutan percobaan 10 ml air sebagai blanko
3. Pipet 10 ml larutan Luff Schoorl aduk sampai homogen
4. Refluks selama 10 menit diatas penangas air (selama pemanasan permukaan air mendidih selalu berada sekitar 2 cm diatas permukaan cairan dalam erlenmeyer
5. Dinginkan segera dengan air dingin yang mengalir sampai dingin
6. Tambahkan 5 ml larutan asam sulfat 6 N aduk sampai homogen
7. Tambahkan 1,5 gram KI aduk sampai semua endapan larut
8. Titrasi dengan larutan Natrium Tiosulfat baku sampai terbentuk warna kuning

muda, tambahkan 2,5 ml larutan kanji

9. Titrasi dilanjutkan sampai warna biru tepat hilang

10. Catat volume larutan natrium tiosulfat baku yang di butuhkan untuk titrasi larutan percobaan dan blanko.

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb - Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$Kadar\ gula\ sebelum\ inverse\ (\%) = \frac{mg\ gula\ (tabel) \times Fp}{Ws \times 1000} \times 100$$

$$Kadar\ gula\ setelah\ inverse\ I\ (\%) = \frac{mg\ gula\ (tabel) \times Fp}{Ws \times 1000} \times 100$$

$$Kadar\ gula\ setelah\ inverse\ II\ (\%) = \frac{mg\ gula\ (tabel) \times Fp}{Ws \times 1000} \times 100$$

$$Kadar\ disakarida\ (sukrosa) = [(\%gula\ setelah\ inverse\ I - \%gula\ sebelum\ inverse) 0,95]$$

4. Prosedur Analisis Respon Mikrobiologi

1. Prosedur Analisis Angka Lempeng Total (ALT) / Total Plate Count (TPC) SNI 01-2332.3-2006

Tujuan : Untuk menentukan jumlah total mikroorganisme aerob mesofilik (bakteri, kapang, dan khamir) yang terdapat dalam sampel gula cair sebagai indikator tingkat kontaminasi mikroba dan higienitas produk.

Prinsip : Berdasarkan metode hitungan cawan (*pour plate method*), yaitu sampel cair atau hasil pengenceran dituang ke dalam cawan petri steril, kemudian ditambahkan

media agar padat (Plate Count Agar/PCA) pada suhu $45 \pm 1^\circ\text{C}$. Setelah media memadat, cawan diinkubasi pada suhu $35 \pm 1^\circ\text{C}$ selama 48 ± 2 jam. Koloni mikroba yang tumbuh dihitung menggunakan *colony counter*, dan hasilnya dinyatakan dalam CFU/g (Colony Forming Unit per gram) atau CFU/mL.

Prosedur

a. Pembuatan Media dan Larutan Pengencer

1. Timbang 17,5 gram serbuk media Plate Count Agar (PCA) dan larutkan dalam 1000 mL aquades. Panaskan sambil diaduk hingga mendidih, kemudian sterilisasi dalam autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit.
2. Siapkan larutan pengencer Butterfield's Phosphate Buffered (BFP) atau Buffered Peptone Water (BPW). Untuk BFP, campurkan 5 mL larutan stok KH_2PO_4 dengan 4000 mL aquades, kemudian distribusikan sebanyak 9 mL ke dalam tabung reaksi dan 225 mL ke dalam botol pengencer. Sterilisasi dalam autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit.

b. Persiapan dan Pengenceran Sampel

1. Secara aseptis, timbang 25 gram sampel gula cair dan masukkan ke dalam botol berisi 225 mL larutan BFP steril (pengenceran 10^{-1}).
2. Homogenkan sampel menggunakan *stomacher* atau *vortex mixer* selama 60 detik hingga tercampur rata.
3. Ambil 1 mL dari larutan pengenceran 10^{-1} menggunakan pipet steril, pindahkan ke dalam tabung berisi 9 mL larutan BFP, lalu homogenkan dengan *vortex* (pengenceran 10^{-2}).

4. Lakukan pengenceran seri selanjutnya (10^{-3} , 10^{-4} , dst.) dengan cara yang sama, sesuai dengan perkiraan jumlah mikroba dalam sampel.

c. Penanaman (*Pour Plate*)

1. Siapkan cawan petri steril dan beri label sesuai dengan kode sampel dan tingkat pengenceran.
2. Pipet 1 mL dari setiap tingkat pengenceran (minimal 2-3 tingkat pengenceran) ke dalam cawan petri steril secara duplo (dua cawan untuk setiap pengenceran).
3. Tuangkan 12 – 15 mL media PCA yang telah dicairkan dan dijaga pada suhu $45 \pm 1^{\circ}\text{C}$ dalam *water bath* ke dalam setiap cawan yang berisi sampel
4. Putar cawan dengan hati-hati ke depan, ke belakang, ke kanan, dan ke kiri (membentuk angka delapan) hingga sampel dan media tercampur merata.
5. Biarkan cawan di atas permukaan datar hingga media memadat (membeku).
6. Lakukan prosedur yang sama untuk blangko (kontrol) dengan menggunakan 1 mL larutan pengencer (BFP) sebagai pengganti sampel.

d. Inkubasi

1. Setelah media memadat, balikkan cawan petri (posisi terbalik) untuk mencegah tetesan air kondensasi jatuh ke permukaan media.
2. Inkubasi cawan dalam inkubator pada suhu $35 \pm 1^{\circ}\text{C}$ selama 48 ± 2 jam.

e. Perhitungan Koloni

1. Setelah masa inkubasi, hitung jumlah koloni yang tumbuh pada setiap cawan menggunakan *colony counter*.
2. Pilih cawan dari tingkat pengenceran yang menunjukkan jumlah koloni antara 25 – 250 koloni(angka yang dapat dihitung).

3. Hitung Angka Lempeng Total (ALT) menggunakan rumus berikut:

$$N = \frac{\Sigma c}{[(1 \times n_1) + (0,1 \times n_2)] \times d}$$

Keterangan:

- N = Jumlah koloni produk (CFU/g atau CFU/mL)
- ΣC = Jumlah koloni dari semua cawan yang dihitung (dari dua tingkat pengenceran yang dipilih)
- n_1 = Jumlah cawan pada pengenceran pertama yang dihitung
- n_2 = Jumlah cawan pada pengenceran kedua yang dihitung
- d = Faktor pengenceran pertama yang dihitung

Lampiran 5 Data Hasil Analisis Respon Fisik

Tabel 14. Data Hasil Respon Fisik Total Padatan Terlarut

Variasi suhu (°C)	Variasi pengaduk (rpm)	U1	U2	Total	Rata-rata
60 (d1)	26 (t1)	69,7	69,3	139	69,5
	36 (t2)	69,9	69,6	139,5	69,75
	48 (t3)	69,6	69,9	139,5	69,75
70 (d2)	26 (t1)	69	68,8	137,8	68,9
	36 (t2)	69,9	70	139,9	69,95
	48 (t3)	69,3	69,2	138,5	69,25
80 (d3)	26 (t1)	70,4	69,9	140,3	70,15
	36 (t2)	74	74,2	148,2	74,1
	48 (t3)	70,2	69,9	140,1	70,05
Total		632	630,8	1262,8	631,4
Rata-rata		70,22222	70,08889	140,3111	70,15556

Tabel 15. Analisis Variasi (ANAVA) Respon Fisik Total Padatan Terlarut.

Sumber Variasi	dB	JK	KT	F Hitung	0,05
Kelompok	2	0,08	0,04	0,903226	3,725725
Perlakuan	8	37,53444	4,691806	105,944	3,725725
Faktor A	2	14,96444	7,482222	168,9534	4,737414
Faktor B	2	11,19444	5,597222	126,3889	4,737414
Interaksi AB	4	11,37556	2,843889	64,21685	4,120312
Galat	7	0,31	0,044286		
Total	17	37,92444			

Kesimpulan :

Berdasarkan tabel ANAVA, didapatkan bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$ 5%, sehingga dilakukan Uji lanjut Duncan.

 = Berpengaruh Nyata

Tabel 16. Uji Lanjut Duncan Respon Fisik Total Padatan Terlarut

SSR	LSR	KODE	RATA"	PERLAKUAN									TN
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	
-	-	d2t1	68,9	-									a
3,34	0,497008	d2t3	69,25	0,35									a
3,48	0,517841	d1t1	69,5	0,6	0,25								b
3,44	0,511888	d1t2	69,75	0,85	0,5	0,25							b
3,59	0,534209	d1t3	69,75	0,85	0,5	0,25	0						b
3,61	0,537185	d2t2	69,95	1,05	0,7	0,45	0,2	0,2					b
3,62	0,538673	d3t3	70,05	1,15	0,8	0,55	0,3	0,3	0,1				c
3,63	0,540161	d3t1	72,15	3,25	2,9	2,65	2,4	2,4	2,2	2,1			c
3,62	0,538673	d3t2	74,1	5,2	4,85	4,6	4,35	4,35	4,15	4,05	1,95	-	d

= Berpengaruh Nyata

Tabel 17 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d1 Terhadap Total Padatan Terlarut

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d1t1	69,50	-			a
3,34	0,497	d1t2	69,75	0,25tn	-		a
3,48	0,518	d1t3	69,75	0,25tn	0,00tn	-	a

Tabel 18 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d2 Terhadap Total Padatan Terlarut

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d2t1	68,9	-			a
3,34	0,497	d2t3	69,25	0,35tn	-		a
3,48	0,518	d2t2	69,95	1,05*	0,70*	-	b

Tabel 19 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d3 Terhadap Total Padatan Terlarut

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d3t3	68,45	-			a
3,34	0,497	d3t1	70,15	1,70*	-		b
3,48	0,518	d3t2	74,10	5,65*	3,95*	-	c

Tabel 20 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t1 (26 rpm) Terhadap Total Padatan Terlarut

SSR 5%	LSR 5%	kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d2t1	68,90	-			A
3,34	0,497	d1t1	70,15	1,25*	-		B
3,48	0,518	d3t1	72,85	3,10*	1,85*	-	C

Tabel 21 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t2 (36 rpm) Terhadap Total Padatan Terlarut

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d1t2	69,75	-			A
3,34	0,497	d2t2	69,95	0,20tn	-		A
3,48	0,518	d3t2	74,10	4,35*	4,15*	-	B

Tabel 22 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t3 (48 rpm) Terhadap Total Padatan Terlarut

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d3t3	68,45	-			A
3,34	0,497	d2t3	69,25	0,80*	-		B
3,48	0,518	d1t3	69,75	1,30*	0,50tn	-	B

Tabel 23 Pengujian Pengaruh Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Total Padatan Terlarut

Suhu Evaporasi (D)	Kecepatan Pengaduk (T)		
	t1 (26 rpm)	t2 (36 rpm)	t3 (48 rpm)
d1 (60°C)	69,50 C b	69,75 A a	69,75 C a
d2(70°C)	68,90 A a	69,95 A b	69,25 B a
d3 (80°C)	70,15 B b	74,10 B c	68,45 A a

Keterangan :

- Setiap huruf yang berbeda menyatakan perbedaan yang nyata menurut Uji Duncan pada taraf 5%
- Huruf kecil pada kolom dibaca horizontal, sedangkan huruf besar dibaca vertikal

Tabel 24. Data Hasil Respon Fisik Warna (L*)

Variasi suhu (°C)	Variasi pengaduk (rpm)	U1	U2	Total	Rata-rata
60 (d1)	26 (t1)	34,45	34,42	68,87	34,44
	36 (t2)	34,52	34,48	69	34,50
	48 (t3)	34,38	34,35	68,73	34,37
70 (d2)	26 (t1)	33,65	33,68	67,33	33,67
	36 (t2)	33,72	33,74	67,46	33,73
	48 (t3)	33,58	33,55	67,13	33,57
80 (d3)	26 (t1)	32,95	32,98	65,93	32,97
	36 (t2)	33,02	33,05	66,07	33,04
	48 (t3)	32,88	32,85	65,73	32,87
Total		303,15	303,1	606,25	303,125
Rata-rata		33,68333	33,67778	67,36111	33,68056

Tabel 25. Analisis Variasi (ANOVA) Respon Fisik Warna (L*)

Sumber Variasi	dB	JK	KT	F Hitung	0,05
Kelompok	2	0,000139	6,94E-05	0,121191	3,725725
Perlakuan	8	6,638144	0,829768	1448,072	3,725725
Faktor A	2	6,563078	3,281539	5726,785	4,737414
Faktor B	2	0,074178	0,037089	64,72576	4,737414
Interaksi AB	4	0,000889	0,000222	0,387812	4,120312
Galat	7	0,004011	0,000573		
Total	17	6,642294			

Kesimpulan :

Berdasarkan tabel ANOVA, didapatkan bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$ 5%, sehingga dilakukan Uji lanjut Duncan.

 = Berpengaruh Nyata

Tabel 26. Uji Lanjut Duncan Respon Fisik Warna (L*)

SSR	LSR	KODE	RATA"	PERLAKUAN									TN
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	
-	-	d3t3	32,87	-									a
3,34	0,056535	d3t1	32,97	0,10									b
3,48	0,058904	d3t2	33,04	0,17	0,07								c
3,44	0,058227	d2t3	33,57	0,7	0,6	0,53							d
3,59	0,060766	d2t1	33,67	0,8	0,7	0,63	0,1						e
3,61	0,061105	d2t2	33,73	0,86	0,76	0,69	0,16	0,06					e
3,62	0,061274	d1t3	34,37	1,5	1,4	1,33	0,8	0,7	0,64				f
3,63	0,061443	d1t1	34,44	1,57	1,47	1,4	0,87	0,77	0,71	0,07			g
3,62	0,061274	d1t2	34,50	1,63	1,53	1,46	0,83	0,83	0,77	0,13	0,06	-	g

 = Berpengaruh Nyata

Tabel 27 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d1 terhadap Warna (a*)

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d1t3	34,37	-			a
3,34	0,057	d1t1	34,44	0,07	-		b
3,48	0,060	d1t2	34509	0,13	0,06	-	c

Tabel 28 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d2 terhadap Warna (a*)

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d2t3	33,57	-			a
3,34	0,057	d2t1	33,67	0,10	-		b
3,48	0,060	d2t2	33,73	0,16	0,06	-	c

Tabel 29 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d3 terhadap Warna (a*)

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d3t3	32,87	-	-	-	a
3,34	0,057	d3t1	32,97	0,10	-	-	b
3,48	0,060	d3t2	33,04	0,17	0,07	-	c

Tabel 30 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t1 (26 rpm) terhadap Warna (a*)

SSR 5%	LSR 5%	kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d3t1	32,97	-	-	-	A
3,34	0,057	d2t1	33,67	0,70	-	-	B
3,48	0,060	d1t1	34,44	0,47	0,77	-	C

Tabel 31 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t2 (36 rpm) terhadap Warna (a*)

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d3t2	33,04	-	-	-	A
3,34	0,057	d2t2	33,73	0,69	-	-	B
3,48	0,060	d1t2	34,50	1,46	0,77	-	C

Tabel 32 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t3 (48 rpm) terhadap Warna (a*)

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d3t3	32,87	-			A
3,34	0,057	d2t3	33,57	0,70	-		B
3,48	0,060	d1t3	34,37	1,50	0,80	-	C

Tabel 33 Pengujian Pengaruh Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Warna (a*)

Suhu Evaporasi (D)	Kecepatan Pengaduk (T)		
	t1 (26 rpm)	t2 (36 rpm)	t3 (48 rpm)
d1 (60°C)	31,44 C a	34,50 C a	34,37 C a
d2(70°C)	33,67 B b	33,73 B c	33,57 B a
d3 (80°C)	32,97 A b	33,04 A c	32,87 A a

Keterangan :

- Setiap huruf yang berbeda menyatakan perbedaan yang nyata menurut Uji Duncan pada taraf 5%

- Huruf kecil pada kolom dibaca horizontal, sedangkan huruf besar dibaca vertikal

Tabel 34. Data Hasil Respon Fisik Warna (a*)

Variasi suhu (°C)	Variasi pengaduk (rpm)	U1	U2	Total	Rata-rata
60 (d1)	26 (t1)	3,32	3,3	6,62	3,31
	36 (t2)	3,4	3,38	6,78	3,39
	48 (t3)	3,27	3,25	6,52	3,26
70 (d2)	26 (t1)	3,38	3,4	6,78	3,39
	36 (t2)	3,62	3,6	7,22	3,61
	48 (t3)	3,3	3,28	6,58	3,29
80 (d3)	26 (t1)	2,92	2,9	5,82	2,91
	36 (t2)	2,95	2,97	5,92	2,96
	48 (t3)	2,9	2,91	5,81	2,91
Total		29,06	28,99	58,05	29,025
Rata-rata		3,228889	3,221111	6,45	3,225

Tabel . Analisis Variasi (ANOVA) Respon Fisik Warna (a*)

Sumber Variasi	dB	JK	KT	F Hitung	0,05
Kelompok	2	0,000272	0,000136	0,691532	3,725725
Perlakuan	8	0,9744	0,1218	618,8226	3,725725
Faktor A	2	0,8463	0,42315	2149,875	4,737414
Faktor B	2	0,089233	0,044617	226,6815	4,737414
Interaksi AB	4	0,038867	0,009717	49,36694	4,120312
Galat	7	0,001378	0,000197		
Total	17	0,97605			

Kesimpulan :

Berdasarkan tabel ANAVA, didapatkan bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$ 5%, sehingga dilakukan Uji lanjut Duncan.

 = Berpengaruh Nyata

Tabel 36. Uji Lanjut Duncan Respon Fisik Warna (a*)

SSR	LSR	KODE	RATA"	PERLAKUAN									TN
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	
-	-	d3t3	2,91	-									a
3,34	0,033134	d3t1	2,91	0									a
3,48	0,034523	d3t2	2,96	0,05	0,05								b
3,44	0,034126	d1t3	3,26	0,35	0,35	0,3							b
3,59	0,035614	d2t3	3,29	0,38	0,38	0,33	0,03						c
3,61	0,035812	d1t1	3,31	0,4	0,4	0,35	0,05	0,02					d
3,62	0,035912	d1t2	3,39	0,48	0,48	0,43	0,13	0,1	0,08				e
3,63	0,036011	d2t1	3,39	0,48	0,48	0,43	0,13	0,1	0,08	0			e
3,62	0,035912	d2t2	3,61	0,7	0,7	0,65	0,32	0,32	0,3	0,22	0,22	-	f

= Berpengaruh Nyata

Tabel 37 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d1 terhadap Warna (a*)

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d1t3	3,26	-			a
3,34	0,033	d1t1	3,31	0,05	-		b
3,48	0,035	d1t2	3,39	0,13	0,08	-	c

Tabel 38 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d2 terhadap Warna (a*)

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d2t3	3,29	-			a
3,34	0,033	d2t1	3,39	0,10	-		b
3,48	0,035	d2t2	3,61	0,32	0,22	-	c

Tabel 38 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d3 terhadap Warna (a*)

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d3t3	2,91	-			a
3,34	0,033	d3t1	2,91	0,00	-		a
3,48	0,035	d3t2	2,96	0,05	0,05	-	b

Tabel 39 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t1 (26 rpm) terhadap Warna (a*)

SSR 5%	LSR 5%	kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d3t1	2,91	-			A
3,34	0,033	d1t1	3,31	0,40	-		B
3,48	0,035	d2t1	3,39	0,48	0,08	-	C

Tabel 40 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t2 (36 rpm) terhadap Warna (a*)

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d3t2	2,96	-			A
3,34	0,033	d1t2	3,39	0,43	-		B
3,48	0,035	d2t2	3,61	0,65	0,22	-	C

Tabel 41 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t3 (48 rpm) terhadap Warna (a*)

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d3t3	2,91	-			A
3,34	0,033	d1t3	3,26	0,35	-		B
3,48	0,035	d2t3	3,29	0,38	0,03	-	C

Tabel 42 Pengujian Pengaruh Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Warna (a*)

Suhu Evaporasi (D)	Kecepatan Pengaduk (T)		
	t1 (26 rpm)	t2 (36 rpm)	t3 (48 rpm)
d1 (60°C)	3,31 C b	3,39 C c	3,26 B a
d2(70°C)	3,39 C b	3,61 C c	3,29 B a
d3 (80°C)	2,91 A a	2,96 A c	2,91 A a

Keterangan :

- Setiap huruf yang berbeda menyatakan perbedaan yang nyata menurut Uji Duncan pada taraf 5%
- Huruf kecil pada kolom dibaca horizontal, sedangkan huruf besar dibaca vertikal

Tabel 43. Data Hasil Respon Fisik Warna (b*)

Variasi suhu (°C)	Variasi pengaduk (rpm)	U1	U2	Total	Rata-rata
60 (d1)	26 (t1)	17,2	17,18	34,38	17,19
	36 (t2)	17,35	17,32	34,67	17,34
	48 (t3)	17	17	34	17,00
70 (d2)	26 (t1)	16,8	16,83	33,63	16,82
	36 (t2)	17	16,97	33,97	16,99
	48 (t3)	16,55	16,53	33,08	16,54
80 (d3)	26 (t1)	16,55	16,52	33,07	16,54
	36 (t2)	16,6	16,62	33,22	16,61
	48 (t3)	16,58	16,6	33,18	16,59
Total		151,63	151,57	303,2	151,6
Rata-rata		16,84778	16,84111	33,68889	16,84444

Tabel 44. Analisis Variasi (ANOVA) Respon Fisik Warna (b*)

Sumber Variasi	dB	JK	KT	F Hitung	0,05
Kelompok	2	0,0002	1E-04	0,291667	3,725725
Perlakuan	8	1,426044	0,178256	519,912	3,725725
Faktor A	2	1,105411	0,552706	1612,058	4,737414
Faktor B	2	0,213378	0,106689	311,1759	4,737414
Interaksi AB	4	0,107256	0,026814	78,20718	4,120312
Galat	7	0,0024	0,000343		
Total	17	1,428644			

Kesimpulan :

Berdasarkan tabel ANOVA, didapatkan bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$ 5%, sehingga dilakukan Uji lanjut Duncan.

 = Berpengaruh Nyata

Tabel 45. Uji Lanjut Duncan Respon Fisik Warna (b*)

SSR	LSR	KODE	RATA"	PERLAKUAN									TN
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	
-	-	d3t1	16,54	-									a
3,34	0,043731	d2t3	16,54	0									b
3,48	0,045564	d3t3	16,59	0,05	0,05								c
3,44	0,04504	d3t2	16,61	0,07	0,07	0,02							c
3,59	0,047004	d2t1	16,82	0,28	0,28	0,23	0,21						d
3,61	0,047266	d2t2	16,99	0,45	0,45	0,4	0,38	0,17					e
3,62	0,047397	d1t3	17,00	0,46	0,46	0,41	0,39	0,18	0,01				e
3,63	0,047528	d1t1	17,19	0,65	0,65	0,6	0,58	0,37	0,2	0,19			f
3,62	0,047397	d1t2	17,34	0,8	0,8	0,75	0,52	0,52	0,35	0,34	0,15	-	g

= Berpengaruh Nyata

Tabel 46 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d1 terhadap Warna (b*)

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d1t3	17,00	-			a
3,34	0,039	d1t1	17,19	0,19	-		b
3,48	0,041	d1t2	17,34	0,34	0,15	-	c

Tabel 47 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d2 terhadap Warna (b*)

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d2t3	16,54	-			a
3,34	0,039	d2t1	16,82	0,28	-		b
3,48	0,041	d2t2	16,99	0,45	0,17	-	c

Tabel 48 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d3 terhadap Warna (b*)

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d3t1	16,54	-			a
3,34	0,039	d3t3	16,59	0,05	-		b
3,48	0,041	d3t2	16,61	0,07	0,01	-	b

Tabel 49 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t1 (26 rpm) terhadap Warna (b*)

SSR 5%	LSR 5%	kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d3t1	16,54	-			A
3,34	0,039	D2t1	16,82	0,28	-		B
3,48	0,041	D1t1	17,19	0,48	0,08	-	C

Tabel 50 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t2 (36 rpm) terhadap Warna (b*)

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d3t2	16,61	-			A
3,34	0,039	d2t2	16,99	0,38	-		B
3,48	0,041	d1t2	17,34	0,73	0,35	-	C

Tabel 51 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t3 (48 rpm) terhadap Warna (b*)

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d2t3	16,54	-			A
3,34	0,039	d3t3	16,59	0,05	-		B
3,48	0,041	d1t3	17,00	0,46	0,41	-	C

Tabel 52 Pengujian Pengaruh Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Warna (b*)

Suhu Evaporasi (D)	Kecepatan Pengaduk (T)		
	t1 (26 rpm)	t2 (36 rpm)	t3 (48 rpm)
d1 (60°C)	17,19 C b	17,34 C c	17,00 B a
d2(70°C)	16,82 B b	16,99 B c	16,54 A a
d3 (80°C)	16,54 A a	16,61 A b	16,59 A b

Keterangan :

- Setiap huruf yang berbeda menyatakan perbedaan yang nyata menurut Uji Duncan pada taraf 5%
- Huruf kecil pada kolom dibaca horizontal, sedangkan huruf besar dibaca vertikal

Tabel 53. Data Hasil Respon Fisik Viskositas

Variasi suhu (°C)	Variasi pengaduk (rpm)	U1	U2	Total	Rata-rata
60 (d1)	26 (t1)	318	307	625	312,50
	36 (t2)	275	289	564	282,00
	48 (t3)	335	321	656	328,00
70 (d2)	26 (t1)	625	611	1236	618,00
	36 (t2)	532	548	1080	540,00
	48 (t3)	658	672	1330	665,00
80 (d3)	26 (t1)	1120	1095	2215	1107,50
	36 (t2)	986	1004	1990	995,00
	48 (t3)	1065	1045	2110	1055,00
Total		5914	5892	11806	5903
Rata-rata		657,1111	654,6667	1311,778	655,8889

Tabel 54. Analisis Variasi (ANOVA) Respon Fisik Viskositas

Sumber Variasi	dB	JK	KT	F Hitung	0,05
Kelompok	2	26,88889	13,44444	0,076631	3,725725
Perlakuan	8	1716815	214601,8	1223,19	3,725725
Faktor A	2	1686003	843001,7	4804,95	4,737414
Faktor B	2	22733,78	11366,89	64,78911	4,737414
Interaksi AB	4	8077,556	2019,389	11,51013	4,120312
Galat	7	1228,111	175,4444		
Total	17	1718070			

Kesimpulan :

Berdasarkan tabel ANAVA, didapatkan bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$ 5%, sehingga dilakukan Uji lanjut Duncan.

 = Berpengaruh Nyata

Tabel 55. Uji Lanjut Duncan Respon Fisik Viskositas

SSR	LSR	KODE	RATA"	PERLAKUAN									TN
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	
-	-	d1t2	282,00	-									a
3,34	31,28249	d1t1	312,50	30,5									a
3,48	32,59373	d1t3	328,00	46	15,5								b
3,44	32,21909	d2t2	540,00	258	227,5	212							c
3,59	33,62399	d2t1	618,00	336	305,5	290	78						d
3,61	33,81131	d2t3	665,00	383	352,5	337	125	47					e
3,62	33,90497	d3t2	995,00	713	682,5	667	455	377	330				f
3,63	33,99863	d3t3	1055,00	773	742,5	727	515	437	390	60			g
3,62	33,90497	d3t1	1107,50	825,5	795	779,5	489,5	489,5	442,5	112,5	52,5	-	h

= Berpengaruh Nyata

Tabel 56 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d1 terhadap Viskositas

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d1t2	282,00	-			a
3,34	31,282	d1t1	312,50	30,5	-		a
3,48	32,594	d1t3	328,00	46,0	15,5	-	b

Tabel 57 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d2 terhadap Viskositas

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d2t2	540,00	-			a
3,34	31,282	d2t1	618,00	78,00	-		b
3,48	32,594	d2t3	665,00	665,00	47,0	-	c

Tabel 58 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d3 terhadap Viskositas

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d3t2	995,00	-			a
3,34	31,282	d3t3	1055,00	60,0	-		b
3,48	32,594	d3t1	1107,50	112,5	52,5	-	c

Tabel 59 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t1 (26 rpm) terhadap Viskositas

SSR 5%	LSR 5%	kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d1t1	312,50	-			A
3,34	31,282	d2t1	618,00	305,5	-		B
3,48	32,594	d3t1	1107,50	795,0	489,5	-	C

Tabel 60 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t2 (36 rpm) terhadap Viskositas

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d1t2	282,00	-			A
3,34	31,282	d2t2	540,00	258,0	-		B
3,48	32,594	d3t2	995,00	713,0	455,0	-	C

Tabel 61 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t3 (48 rpm) terhadap Viskositas

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	

-	-	d1t3	328,00	-			A
3,34	31,282	d2t3	665,00	337,0	-		B
3,48	32,594	d2t3	1055,00	727,0	390,0	-	C

Tabel 62 Pengujian Pengaruh Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Viskositas

Suhu Evaporasi (D)	Kecepatan Pengaduk (T)		
	t1 (26 rpm)	t2 (36 rpm)	t3 (48 rpm)
d1 (60°C)	312,50 A a	282,00 A a	328,00 A b
d2(70°C)	618,00 B b	540,00 B a	665,00 A c
d3 (80°C)	1107,50 C c	995,00 C a	1055,00 C b

Keterangan :

- Setiap huruf yang berbeda menyatakan perbedaan yang nyata menurut Uji Duncan pada taraf 5%

- Huruf kecil pada kolom dibaca horizontal, sedangkan huruf besar dibaca vertikal

Lampiran 6 Data Hasil Analisa Respon Kimia

Tabel 63. Data Hasil Respon Kimia kadar Air

Variasi suhu (°C)	Variasi pengaduk (rpm)	U1	U2	Total	Rata-rata
60 (d1)	26 (t1)	22,0022	21,8246	43,8268	21,91
	36 (t2)	21,052	20,9657	42,0177	21,01
	48 (t3)	18,8825	18,7471	37,6296	18,81
70 (d2)	26 (t1)	20,9565	20,8423	41,7988	20,90
	36 (t2)	18,9196	18,7545	37,6741	18,84
	48 (t3)	19,8332	19,569	39,4022	19,70
80 (d3)	26 (t1)	19,506	19,2217	38,7277	19,36
	36 (t2)	18,1488	17,898	36,0468	18,02
	48 (t3)	19,0365	18,8175	37,854	18,93
Total		178,3373	176,6404	354,9777	177,4889
Rata-rata		19,81526	19,62671	39,44197	19,72098

Tabel 64. Analisis Variasi (ANAVA) Respon Kimia kadar Air

Sumber Variasi	dB	JK	KT	F Hitung	0,05
Kelompok	2	0,159971	0,079985	28,58734	3,725725
Perlakuan	8	26,1932	3,27415	1170,206	3,725725
Faktor A	2	9,877658	4,938829	1765,175	4,737414
Faktor B	2	9,142993	4,571497	1633,888	4,737414
Interaksi AB	4	7,172552	1,793138	640,8812	4,120312
Galat	7	0,019585	0,002798		
Total	17	26,37276			

Kesimpulan :

Berdasarkan tabel ANAVA, didapatkan bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$ 5%, sehingga dilakukan Uji lanjut Duncan.

 = Berpengaruh Nyata

Tabel 65. Uji Lanjut Duncan Respon Kimia kadar Air

SSR	LSR	KODE	RATA"	PERLAKUAN									TN
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	
-	-	d2t1	18,02	-									a
3,34	0,124925	d2t3	18,81	0,79									b
3,48	0,130161	d1t1	18,84	0,82	0,03								c
3,44	0,128665	d1t2	18,93	0,91	0,12	0,09							d
3,59	0,134276	d1t3	19,36	1,34	0,55	0,52	0,43						e
3,61	0,135024	d2t2	19,70	1,68	0,89	0,86	0,77	0,34					f
3,62	0,135398	d3t3	20,90	2,88	2,09	2,06	1,97	1,54	1,2				g
3,63	0,135772	d3t1	21,01	2,99	2,2	2,17	2,08	1,65	1,31	0,11			h
3,62	0,135398	d3t2	21,91	3,89	3,1	3,07	2,55	2,55	2,21	1,01	0,9	-	i

= Berpengaruh Nyata

Tabel 66 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d1 terhadap kadar air

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d1t3	18,81	-			a
3,34	0,125	d1t2	21,01	2,20	-		b
3,48	0,130	d1t1	21,91	3,10,	0,90	-	c

Tabel 67 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d2 terhadap kadar air

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d2t2	18,84	-			a
3,34	0,125	d2t3	19,70	0,86	-		b
3,48	0,130	d2t1	20,90	2,06	1,20	-	c

Tabel 68 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d3 terhadap kadar air

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d3t2	18,02	-			a
3,34	0,125	d3t3	18,93	0,91	-		b
3,48	0,130	d3t1	19,36	1,34	0,43	-	c

Tabel 69 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t1 (26 rpm) terhadap kadar air

SSR 5%	LSR 5%	kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d3t1	19,36	-			A
3,34	0,125	d3t1	20,90	1,54	-		B
3,48	0,130	d1t1	21,91	2,55	1,01	-	C

Tabel 70 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t2 (36 rpm) terhadap kadar air

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d1t2	18,02	-			A
3,34	0,125	d2t2	18,94	0,82	-		B
3,48	0,130	d3t2	21,01	2,99	2,17	-	C

Tabel 71 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t3 (48 rpm) terhadap kadar air

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d1t3	18,81	-			A
3,34	0,125	d3t3	18,93	0,12	-		A
3,48	0,130	d2t3	19,70	0,89	0,77	-	B

Tabel 72 Pengujian Pengaruh Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Kadar Air

Suhu Evaporasi (D)	Kecepatan Pengaduk (T)		
	t1 (26 rpm)	t2 (36 rpm)	t3 (48 rpm)
d1 (60°C)	21,91 C c	21,01 C b	18,81 A a
d2(70°C)	20,90 B c	18,84 B a	19,70 B b
d3 (80°C)	19,36 A c	18,02 A a	18,93 A b

Keterangan : - Setiap huruf yang berbeda menyatakan perbedaan yang nyata menurut Uji Duncan pada taraf 5%

- Huruf kecil pada kolom dibaca horizontal, sedangkan huruf besar dibaca vertikal

Tabel 73. Data Hasil Respon Kimia Gula Pereduksi

Variasi suhu (°C)	Variasi pengaduk (rpm)	U1	U2	Total	Rata-rata
60 (d1)	26 (t1)	34,78	34,99	69,77	34,89
	36 (t2)	35,37	35,3	70,67	35,34
	48 (t3)	34,71	34,57	69,28	34,64
70 (d2)	26 (t1)	35,51	35,37	70,88	35,44
	36 (t2)	35,96	36,1	72,06	36,03
	48 (t3)	34,26	34,71	68,97	34,49
80 (d3)	26 (t1)	35,06	35,13	70,19	35,10
	36 (t2)	35,16	35,09	70,25	35,13
	48 (t3)	34,92	34,47	69,39	34,70
Total		315,73	315,73	631,46	315,73
Rata-rata		35,08111	35,08111	70,16222	35,08111

Tabel 74. Analisis Variasi (ANOVA) Respon Kimia Gula Pereduksi

Sumber Variasi	dB	JK	KT	F Hitung	0,05
Kelompok	2	0	0	0	3,725725
Perlakuan	8	3,666478	0,45831	12,27772	3,725725
Faktor A	2	0,507478	0,253739	6,797444	4,737414
Faktor B	2	2,407511	1,203756	32,24757	4,737414
Interaksi AB	4	0,751489	0,187872	5,032934	4,120312
Galat	7	0,2613	0,037329		
Total	17	3,927778			

Kesimpulan :

Berdasarkan tabel ANOVA, didapatkan bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$ 5%, sehingga dilakukan Uji lanjut Duncan.

 = Berpengaruh Nyata

Tabel 75. Uji Lanjut Duncan Respon Kimia Gula Pereduksi

SSR	LSR	KODE	RATA"	PERLAKUAN									TN
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	
-	-	d2t1	34,48	-									a
3,34	0,456302	d2t3	34,64	0,16									a
3,48	0,475428	d1t1	34,70	0,22	0,06								a
3,44	0,469964	d1t2	34,89	0,41	0,25	0,19							a
3,59	0,490456	d1t3	35,10	0,62	0,46	0,4	0,21						b
3,61	0,493188	d2t2	35,13	0,65	0,49	0,43	0,24	0,03					b
3,62	0,494555	d3t3	35,34	0,86	0,7	0,64	0,45	0,24	0,21				c
3,63	0,495921	d3t1	35,44	0,96	0,8	0,74	0,55	0,34	0,31	0,1			c
3,62	0,494555	d3t2	36,03	1,55	1,39	1,33	0,93	0,93	0,9	0,69	0,59	-	d

= Berpengaruh Nyata

Tabel 76 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d1 terhadap Gula Pereduksi

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d1t3	34,64	-			a
3,34	0,4563	d1t1	34,89	0,25	-		a
3,48	0,4754	d1t2	35,34	0,70	0,45	-	b

Tabel 77 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d2 terhadap Gula Pereduksi

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d2t3	34,49	-			a
3,34	0,4563	d2t1	35,44	0,95	-		b
3,48	0,4754	d2t2	36,03	1,54	0,59	-	c

Tabel 78 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d3 terhadap Gula Pereduksi

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d3t3	34,70	-	-	-	a
3,34	0,4563	d3t1	35,10	0,40	-	-	b
3,48	0,4754	d3t2	35,13	0,43	0,04	-	b

Tabel 79 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t1 (26 rpm) terhadap Gula Pereduksi

SSR 5%	LSR 5%	kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	D1t1	34,89	-	-	-	A
3,34	0,4563	d3t1	35,10	0,21	-	-	A
3,48	0,4754	D2t1	35,44	0,55	0,34	-	B

Tabel 80 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t2 (36 rpm) terhadap Gula Pereduksi

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d1t2	34,89	-	-	-	A
3,34	0,4563	D3t2	35,13	0,24	-	-	A
3,48	0,4754	D2t2	36,03	1,14	0,90	-	B

Tabel 81 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t3 (48 rpm) terhadap Gula Pereduksi

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d2t3	34,49	-			A
3,34	0,4563	d1t3	34,64	0,12	-		A
3,48	0,4754	d3t3	35,34	0,85	0,70	-	B

Tabel 82 Pengujian Pengaruh Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Gula Pereduksi

Suhu Evaporasi (D)	Kecepatan Pengaduk (T)		
	t1 (26 rpm)	t2 (36 rpm)	t3 (48 rpm)
d1 (60°C)	34,89 A a	34,89 A a	34,64 A a
d2(70°C)	35,44 B b	36,03 B c	34,49 A a
d3 (80°C)	35,10 A a	35,13 A a	35,34 B b

Keterangan : - Setiap huruf yang berbeda menyatakan perbedaan yang nyata menurut Uji Duncan pada taraf 5%

- Huruf kecil pada kolom dibaca horizontal, sedangkan huruf besar dibaca vertikal

Tabel 83. Data Hasil Respon Kimia Gula Sukrosa

Variasi suhu (°C)	Variasi pengaduk (rpm)	U1	U2	Total	Rata-rata
60 (d1)	26 (t1)	21,46	21,59	43,05	21,53
	36 (t2)	16,45	16,43	32,88	16,44
	48 (t3)	21,42	21,34	42,76	21,38
70 (d2)	26 (t1)	16,53	16,46	32,99	16,50
	36 (t2)	11,44	11,49	22,93	11,47
	48 (t3)	26,5	25,95	52,45	26,23
80 (d3)	26 (t1)	21,63	21,68	43,31	21,66
	36 (t2)	11,84	16,33	28a,17	14,09
	48 (t3)	21,55	26,66	48,21	24,11
Total		168,82	177,93	346,75	173,375
Rata-rata		18,75778	19,77	38,52778	19,26389

Tabel 84. Analisis Variasi (ANAVA) Respon Kimia Gula Sukrosa

Sumber Variasi	dB	JK	KT	F Hitung	0,05
Kelompok	2	4,610672	2,305336	0,863261	3,725725
Perlakuan	8	380,9721	47,62151	17,83245	3,725725
Faktor A	2	13,09138	6,545689	2,451113	4,737414
Faktor B	2	297,9731	148,9865	55,78982	4,737414
Interaksi AB	4	69,90762	17,47691	6,54444	4,120312
Galat	7	18,69348	2,670497		
Total	17	404,2762			

Kesimpulan :

Berdasarkan tabel ANAVA, didapatkan bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$ 5%, sehingga dilakukan Uji lanjut Duncan.

 = Berpengaruh Nyata

Tabel 85. Uji Lanjut Duncan Respon Kimia Gula Sukrosa

SSR	LSR	KODE	RATA"	PERLAKUAN									TN
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	
-	-	d2t2	11,46	-									a
3,34	3,859469	d3t2	14,09	2,63									a
3,48	4,021243	d1t2	16,44	4,98	2,35								b
3,44	3,975021	d2t1	16,50	5,04	2,41	0,06							b
3,59	4,148351	d1t3	21,38	9,92	7,29	4,94	4,88						c
3,61	4,171461	d1t1	21,53	10,07	7,44	5,09	5,03	0,15					c
3,62	4,183017	d3t1	21,66	10,2	7,57	5,22	5,16	0,28	0,13				c
3,63	4,194572	d3t3	24,11	12,65	10,02	7,67	7,61	2,73	2,58	2,45			c
3,62	4,183017	d2t3	26,23	14,77	12,14	9,79	4,85	4,85	4,7	4,57	2,12	-	d

= Berpengaruh Nyata

Tabel 86 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d1 terhadap Sukrosa

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d1t2	16,44	-			a
3,34	3,8595	d1t3	21,38	4,94	-		b
3,48	4,0212	d1t1	21,53	5,09	0,15	-	b

Tabel 87 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d2 terhadap Sukrosa

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d2t2	11,46	-			a
3,34	3,8595	d2t1	16,50	5,04	-		b
3,48	4,0212	d2t3	26,23	14,77	9,73	-	c

Tabel 88 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d3 terhadap Sukrosa

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d3t2	14,09	-	-	-	a
3,34	3,8595	d3t1	21,66	7,57	-	-	b
3,48	4,0212	d3t3	24,11	10,02	2,45	-	b

Tabel 89 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t1 (26 rpm) terhadap Sukrosa

SSR 5%	LSR 5%	kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d2t1	16,50	-	-	-	A
3,34	3,8595	d1t1	21,53	5,03	-	-	B
3,48	4,0212	d3t1	21,66	5,16	0,13	-	B

Tabel 90 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t2 (36 rpm) terhadap Sukrosa

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d2t2	11,46	-	-	-	A
3,34	3,8595	d3t2	14,09	2,63	-	-	A
3,48	4,0212	d1t2	16,44	4,98	2,35	-	B

Tabel 91 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t3 (48 rpm) terhadap Sukrosa

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d1t3	21,38	-			A
3,34	3,8595	d3t3	24,11	2,73	-		A
3,48	4,0212	d2t3	26,23	4,85	2,12	-	B

Tabel 92 Pengujian Pengaruh Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Sukrosa

Suhu Evaporasi (D)	Kecepatan Pengaduk (T)		
	t1 (26 rpm)	t2 (36 rpm)	t3 (48 rpm)
d1 (60°C)	21,53 B b	16,44 B a	21,38 A b
d2(70°C)	16,50 A a	11,46 A A	26,23 B c
d3 (80°C)	21,66 B b	14,09 A a	24,11 B b

Keterangan : - Setiap huruf yang berbeda menyatakan perbedaan yang nyata menurut Uji Duncan pada taraf 5%

- Huruf kecil pada kolom dibaca horizontal, sedangkan huruf besar dibaca vertical

Tabel 93. Data Hasil Respon Kimia Gula Total

Variasi suhu (°C)	Variasi pengaduk (rpm)	U1	U2	Total	Rata-rata
60 (d1)	26 (t1)	56,24	56,58	112,82	56,41
	36 (t2)	51,82	51,73	103,55	51,78
	48 (t3)	56,13	55,91	112,04	56,02
70 (d2)	26 (t1)	52,04	51,83	103,87	51,94
	36 (t2)	47,4	47,59	94,99	47,50
	48 (t3)	60,76	60,66	121,42	60,71
80 (d3)	26 (t1)	56,69	56,81	113,5	56,75
	36 (t2)	47	51,42	98,42	49,21
	48 (t3)	56,47	61,13	117,6	58,80
Total		484,55	493,66	978,21	489,105
Rata-rata		53,83889	54,85111	108,69	54,345

Tabel 94. Analisis Variasi (ANOVA) Respon Kimia Gula Total

Sumber Variasi	dB	JK	KT	F Hitung	0,05
Kelompok	2	4,610672	2,305336	0,998989	3,725725
Perlakuan	8	317,8357	39,72946	17,21628	3,725725
Faktor A	2	8,4837	4,24185	1,838154	4,737414
Faktor B	2	248,1444	124,0722	53,76519	4,737414
Interaksi AB	4	61,20757	15,30189	6,630889	4,120312
Galat	7	16,15368	2,307668		
Total	17	338,6001			

Kesimpulan :

Berdasarkan tabel ANAVA, didapatkan bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$ 5%, sehingga dilakukan Uji lanjut Duncan.

 = Berpengaruh Nyata

Tabel 95. Uji Lanjut Duncan Respon Kimia Gula Total

SSR	LSR	KODE	RATA"	PERLAKUAN									TN
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	
-	-	d2t1	47,50	-									a
3,34	3,587717	d2t3	49,21	1,71									a
3,48	3,7381	d1t1	51,78	4,28	2,57								b
3,44	3,695133	d1t2	51,94	4,44	2,73	0,16							b
3,59	3,856258	d1t3	56,02	8,52	6,81	4,24	4,08						c
3,61	3,877742	d2t2	56,41	8,91	7,2	4,63	4,47	0,39					c
3,62	3,888484	d3t3	56,75	9,25	7,54	4,97	4,81	0,73	0,34				c
3,63	3,899225	d3t1	58,80	11,3	9,59	7,02	6,86	2,78	2,39	2,05			c
3,62	3,888484	d3t2	60,71	13,21	11,5	8,93	4,69	4,69	4,3	3,96	1,91	-	d

= Berpengaruh Nyata

Tabel 96 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d1 terhadap Gula Total

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	D2t2	51,78	-			a
3,34	3,5877	D2t1	56,02	4,24	-		b
3,48	3,7381	D2t3	56,41	4,31	0,39	-	b

Tabel 97 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d2 terhadap Gula Total

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d2t2	47,50	-			a
3,34	3,5877	d2t1	51,94	4,44	-		b
3,48	3,7381	d2t3	60,71	13,21	8,77	-	c

Tabel 98 Uji Pengaruh Faktor Kecepatan pengaduk (T) pada taraf d3 terhadap Gula Total

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d3t2	49,21	-	-	-	a
3,34	3,5877	d3t1	56,75	7,54	-	-	b
3,48	3,7381	d3t3	58,80	9,59	2,05	-	b

Tabel 99 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t1 (26 rpm) terhadap Sukrosa

SSR 5%	LSR 5%	kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d2t1	51,94	-	-	-	A
3,34	3,5877	d1t1	56,41	4,47	-	-	B
3,48	3,7381	d3t1	56,75	4,81	0,34	-	B

Tabel 100 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t2 (36 rpm) terhadap Gula Total

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d2t2	47,50	-	-	-	A
3,34	3,5877	d3t2	49,21	1,71	-	-	A
3,48	3,7381	d1t2	51,78	4,28	2,57	-	B

Tabel 101 Uji Pengaruh Faktor Suhu Evaporasi (D) pada Kecepatan Pengaduk t3 (48 rpm) terhadap Gula Total

SSR 5%	LSR 5%	Kode	Rata-rata	Perlakuan			Taraf Nyata
				1	2	3	
-	-	d1t3	56,02	-			A
3,34	3,5877	d3t3	58,80	2,78	-		B
3,48	3,7381	d2t3	60,71	4,69	1,91	-	C

Tabel 102 Pengujian Pengaruh Suhu Evaporasi (D) dan Kecepatan Pengaduk (T) Terhadap Gula Total

Suhu Evaporasi (D)	Kecepatan Pengaduk (T)		
	t1 (26 rpm)	t2 (36 rpm)	t3 (48 rpm)
d1 (60°C)	56,41 B b	51,78 B a	56,02 A b
d2(70°C)	51,94 A a	47,50 A A	60,71 B c
d3 (80°C)	56,75 B b	49,21 A a	58,80 B c

Keterangan : - Setiap huruf yang berbeda menyatakan perbedaan yang nyata menurut Uji Duncan pada taraf 5%

- Huruf kecil pada kolom dibaca horizontal, sedangkan huruf besar dibaca vertical

Lampiran 7 Data Hasil Analisis Kadar Gula Reduksi Gula Cair Sorgum Pada Penelitian Utama

Tabel 103 Data Hasil Analisis Kadar Gula Reduksi Gula Cair Sorgum Ulangan 1

d1t1	d1t2	d1t3
Ws = 0,502 gram Vb= 12,80 mL Vs = 5,55 mL <i>Kadar gula reduksi (%)</i> $= \frac{17,46 \times 100/10}{0,502 \times 1000} \times 100$ = 34,78%	Ws = 0,501 gram Vb= 12,80 mL Vs = 5,48 mL <i>Kadar gula reduksi (%)</i> $= \frac{17,46 \times 100/10}{0,501 \times 1000} \times 100$ = 35,37%	Ws = 0,503 gram Vb= 12,80 mL Vs = 5,60 mL <i>Kadar gula reduksi (%)</i> $= \frac{17,46 \times 100/10}{0,503 \times 1000} \times 100$ = 34,71%
d2t1	d2t2	d2t3
Ws = 0,499 gram Vb= 12,80 mL Vs = 5,52 mL <i>Kadar gula reduksi (%)</i> $= \frac{17,72 \times 100/10}{0,499 \times 1000} \times 100$ = 35,51%	Ws = 0,500 gram Vb= 12,80 mL Vs = 5,40 mL <i>Kadar gula reduksi (%)</i> $= \frac{17,98 \times 100/10}{0,50 \times 1000} \times 100$ = 35,96%	Ws = 0,502 gram Vb= 12,80 mL Vs = 5,65 mL <i>Kadar gula reduksi (%)</i> $= \frac{17,2 \times 100/10}{0,502 \times 1000} \times 100$ = 34,26%
d3t1	d3t2	d3t3
Ws = 0,498 gram Vb= 12,80 mL Vs = 5,58 mL <i>Kadar gula reduksi (%)</i> $= \frac{17,46 \times 100/10}{0,50 \times 1000} \times 100$ = 35,06%	Ws = 0,504 gram Vb= 12,80 mL Vs = 5,45 mL <i>Kadar gula reduksi (%)</i> $= \frac{17,72 \times 100/10}{0,504 \times 1000} \times 100$ = 35,16%	Ws = 0,500 gram Vb= 12,80 mL Vs = 5,62 mL <i>Kadar gula reduksi (%)</i> $= \frac{17,46 \times 100/10}{0,500 \times 1000} \times 100$ = 34,92%

Tabel 104 Data Hasil Analisis Kadar Gula Reduksi Gula Cair Sorgum Ulangan 2

d1t1	d1t2	d1t3
$W_s = 0,499$ gram Vb= 12,80 mL Vs = 5,58 mL <i>Kadar gula reduksi (%)</i> $= \frac{17,46 \times 100/10}{0,499 \times 1000} \times 100$ = 34,99%	$W_s = 0,502$ gram Vb= 12,80 mL Vs = 5,50 mL <i>Kadar gula reduksi (%)</i> $= \frac{17,72 \times 100/10}{0,502 \times 1000} \times 100$ = 35,30%	$W_s = 0,505$ gram Vb= 12,80 mL Vs = 5,55 mL <i>Kadar gula reduksi (%)</i> $= \frac{17,46 \times 100/10}{0,50 \times 1000} \times 100$ = 34,57%
d2t1	d2t2	d2t3
$W_s = 0,501$ gram Vb= 12,80 mL Vs = 5,45 mL <i>Kadar gula reduksi (%)</i> $= \frac{17,72 \times 100/10}{0,501 \times 1000} \times 100$ = 35,37%	$W_s = 0,500$ gram Vb= 12,80 mL Vs = 5,40 mL <i>Kadar gula reduksi (%)</i> $= \frac{17,98 \times 100/10}{0,500 \times 1000} \times 100$ = 35,96%	$W_s = 0,502$ gram Vb= 12,80 mL Vs = 5,60 mL <i>Kadar gula reduksi (%)</i> $= \frac{17,46 \times 100/10}{0,503 \times 1000} \times 100$ = 34,71%
d3t1	d3t2	d3t3
$W_s = 0,497$ gram Vb= 12,80 mL Vs = 5,62 mL <i>Kadar gula reduksi (%)</i> $= \frac{17,46 \times 100/10}{0,497 \times 1000} \times 100$ = 35,13%	$W_s = 0,505$ gram Vb= 12,80 mL Vs = 5,48 mL <i>Kadar gula reduksi (%)</i> $= \frac{17,72 \times 100/10}{0,505 \times 1000} \times 100$ = 35,05%	$W_s = 0,499$ gram Vb= 12,80 mL Vs = 5,65 mL <i>Kadar gula reduksi (%)</i> $= \frac{17,2 \times 100/10}{0,499 \times 1000} \times 100$ = 34,47%

Lampiran 8 Data Hasil Analisis Kadar Air Gula Cair Sorgum Pada Penelitian Utama

$$FD = \frac{\text{Volume air hasil destilasi}}{\text{Vair yang dipipet}}$$

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{W_{\text{air}}}{W_{\text{sampel}}} \times FD \times 100\%$$

Sampel	Ulangan	WSampel (gr)	FD	Vair (mL)	Kadar Air (%)
d1t1	1	5,060	1,0121	1,09	22,00
	2	5,055		1,05	21,82
d1t2	1	5,048	1,0121	1,05	21,05
	2	5,069		1,05	20,96
d1t3	1	5,092	1,0121	1,05	18,88
	2	5,075		0,94	18,75
d2t1	1	5,071	1,0121	1,05	20,95
	2	5,099		1,05	20,84
d2t2	1	5,082	1,0121	0,95	18,91
	2	5,073		0,94	18,75
d2t3	1	5,001	1,0121	0,98	19,50
	2	5,017		0,97	19,56

d3t1	1	5,033	1,0121	0,97	19,50
	2	5,055		0,96	19,22
d3t2	1	5,019	1,0121	0,90	18,14
	2	5,033		0,89	17,89
d3t3	1	5,019	1,0121	0,90	19,03
	2	5,056		0,94	18,

Lampiran 9 Hasil Perhitungan Analisis Kadar Gula Reduksi, Kadar

Sukrosa dan Gula Total

1). Kadar Gula Reduksi Gula Sorgum d1t1 U1

Diketahui :

Wsampel = 0,502 gram

Fp = 100/10

Vsampil = 5,55 mL

Vblanko = 12,80 mL N Na₂S₂O₃ =

0,0984 N

Ditanyakan : Kadar Gula

Reduksi? Jawab :

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb-Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80-5,55) 0,0984}{0,1} = 7,1$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 7 \quad b = 7,1 \quad c = 8$$

$$d = 17,2 \quad x = ? \quad e = 19,8$$

$$X = 17,2 + \left(\frac{7,1 - 7}{8 - 7} \right) (19,8 - 17,2) = 17,46$$

$$Kadar \text{ gula reduksi } (\%) = \frac{17,46 \times 100/10}{0,502 \times 1000} \times 100 = 34,78 \%$$

1. Kadar Sukrosa Gula Cair Sorgum d1t1 U1 Diketahui :

Wsampel = 0,502 gram

Vlarutan A = 5,55 mL

Vlarutan B = 11,60 mL

Vblanko = 12,80 mL

N Na₂S₂O₃ = 0,0984 N

Fp = 100/10.100/10

Ditanyakan : Kadar Sukrosa ?

- Larutan B

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb - Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80 - 11,60) 0,0984}{0,1} = 1,2$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 1 \quad b = 1,2 \quad c = 2$$

$$d = 2,4 \quad x = ? \quad e = 4,8$$

$$X = 2,4 + \left(\frac{1,2 - 1}{2 - 1} \right) (4,8 - 2,4) = 2,88$$

$$Kadar \text{ gula setelah inverse } (\%) = \frac{2,88 \times \frac{100}{10} \times 100/10}{0,502 \times 1000} \times 100 = 57,37\%$$

$$Kadar \text{ sukrosa } (\%) = [(57,37 - 34,78)0,95] = 21,46 \%$$

$$Gula \text{ total} = 34,78 + 21,46 = 56,24 \%$$

2). Kadar Gula Reduksi Gula Sorgum d1t1 U2

Diketahui :

$$W_{\text{sampel}} = 0,499 \text{ gram}$$

$$F_p = 100/10$$

$$V_{\text{sampel}} = 5,58 \text{ mL}$$

$$V_{\text{blanko}} = 12,80 \text{ mL } N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 =$$

$$0,0984 \text{ N}$$

Ditanyakan : Kadar Gula

Reduksi? Jawab :

$$mL \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \frac{(V_b - V_s) N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}{0,1}$$

$$mL \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \frac{(12,80 - 5,58) 0,0984}{0,1} = 7,1$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 7 \qquad b = 7,1 \qquad c = 8$$

$$d = 17,2 \qquad x = ? \qquad e = 19,8$$

$$X = 17,2 + \left(\frac{7,1 - 7}{8 - 7} \right) (19,8 - 17,2) = 17,46$$

$$\text{Kadar gula reduksi (\%)} = \frac{17,46 \times 100/10}{0,499 \times 1000} \times 100 = 34,99 \%$$

2. Kadar Sukrosa Gula Cair Sorgum d1t1 U2 Diketahui :

Wsampel = 0,499 gram

Vlarutan A = 5,58 mL

Vlarutan B = 11,55 mL

Vblanko = 12,80 mL

N Na₂S₂O₃ = 0,0984 N

Fp = 100/10.100/10

Ditanyakan : Kadar Sukrosa ?

- Larutan B

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb - Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80 - 11,55) 0,0984}{0,1} = 1,2$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 1 \quad b = 1,1 \quad c = 2$$

$$d = 2,4 \quad x = ? \quad e = 4,8$$

$$X = 2,4 + \left(\frac{1,2 - 1}{2 - 1} \right) (4,8 - 2,4) = 2,88$$

$$Kadar \text{ gula setelah inverse (\%)} = \frac{2,88 \times \frac{100}{10} \times 100/10}{0,499 \times 1000} \times 100 = 57,72\%$$

$$Kadar \text{ sukrosa (\%)} = [(57,72 - 34,99)0,95] = 21,59 \%$$

$$Gula \text{ total} = 34,99 + 21,59 = 56,58 \%$$

3). Kadar Gula Reduksi Gula Sorgum d1t2 U1

Diketahui :

$$W_{\text{sampel}} = 0,501 \text{ gram}$$

$$F_p = 100/10$$

$$V_{\text{sampel}} = 5,48 \text{ mL}$$

$$V_{\text{blanko}} = 12,80 \text{ mL } N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 =$$

$$0,0984 \text{ N}$$

Ditanyakan : Kadar Gula

Reduksi? Jawab :

$$mL \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \frac{(V_b - V_s) N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}{0,1}$$

$$mL \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \frac{(12,80 - 5,48) 0,0984}{0,1} = 7,2$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 7 \qquad b = 7,2 \qquad c = 8$$

$$d = 17,2 \qquad x = ? \qquad e = 19,8$$

$$X = 17,2 + \left(\frac{7,2 - 7}{8 - 7} \right) (19,8 - 17,2) = 17,72$$

$$\text{Kadar gula reduksi (\%)} = \frac{17,72 \times 100/10}{0,501 \times 1000} \times 100 = 35,37 \%$$

3. Kadar Sukrosa Gula Cair Sorgum d1t2 U1 Diketahui :

Wsampel = 0,501 gram

Vlarutan A = 5,48 mL

Vlarutan B = 11,70 mL

Vblanko = 12,80 mL

N Na₂S₂O₃ = 0,0984 N

Fp = 100/10.100/10

Ditanyakan : Kadar Sukrosa ?

- Larutan B

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb - Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80 - 11,70) 0,0984}{0,1} = 1,1$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 1 \quad b = 1,1 \quad c = 2$$

$$d = 2,4 \quad x = ? \quad e = 4,8$$

$$X = 2,4 + \left(\frac{1,1 - 1}{2 - 1} \right) (4,8 - 2,4) = 2,64$$

$$Kadar \text{ gula setelah inverse } (\%) = \frac{2,64 \times \frac{100}{10} \times 100/10}{0,501 \times 1000} \times 100 = 52,64\%$$

$$Kadar \text{ sukrosa } (\%) = [(52,69 - 35,37) 0,95] = 16,45 \%$$

$$Gula \text{ total} = 35,37 + 16,45 = 51,82 \%$$

4). Kadar Gula Reduksi Gula Sorgum d1t2 U2

Diketahui :

Wsampel = 0,502 gram

Fp = 100/10

Vsampel = 5,50 mL

Vblanko = 12,80 mL N Na₂S₂O₃ =

0,0984 N

Ditanyakan : Kadar Gula

Reduksi? Jawab :

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb-Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80-5,50) 0,0984}{0,1} = 7,2$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 7 \qquad b = 7,2 \qquad c = 8$$

$$d = 17,2 \qquad x = ? \qquad e = 19,8$$

$$X = 17,2 + \left(\frac{7,2 - 7}{8 - 7} \right) (19,8 - 17,2) = 17,72$$

$$Kadar\ gula\ reduksi\ (\%) = \frac{17,72 \times 100/10}{0,502 \times 1000} \times 100 = 35,30 \%$$

4. Kadar Sukrosa Gula Cair Sorgum d1t2 U2

Diketahui :

$W_{\text{sampel}} = 0,502 \text{ gram}$

$V_{\text{larutan A}} = 5,50 \text{ mL}$

$V_{\text{larutan B}} = 11,68 \text{ mL}$

$V_{\text{blanko}} = 12,80 \text{ mL}$

$N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 0,0984 \text{ N}$

$F_p = 100/10.100/10$

Ditanyakan : Kadar Sukrosa ?

- Larutan

$$mL. Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb - Vs) N}{Na_2S_2O_3}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80 - 11,68)}{0,0984} = 1,1$$

Interpolasi mg gula tabel

$$a = 1 \quad b = 1,1 \quad c = 2$$

$$d = 2,4 \quad x = ? \quad e = 4,8$$

$$X = 2,4 + \left(\frac{1,1 - 1}{2 - 1} \right) (4,8 - 2,4) =$$

$$Kadar \text{ gula setelah inverse } (\%) = \frac{2,64 \times \frac{100}{10}}{0,502 \times 100} \times 100 =$$

$$Kadar \text{ sukrosa } (\%) = [(52,59 - 32,30) 0,95] = 16,43$$

$$Gula \text{ total} = 32,30 + 16,43 = 51,73 \%$$

5). Kadar Gula Reduksi Gula Sorgum d1t3 U1

Diketahui :

Wsampel = 0,503 gram

Fp = 100/10

Vsampel = 5,60 mL

Vblanko = 12,80 mL N Na₂S₂O₃ =

0,0984 N

Ditanyakan : Kadar Gula

Reduksi? Jawab :

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb-Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80-5,60) 0,0984}{0,1} = 7,1$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 7 \qquad b = 7,1 \qquad c = 8$$

$$d = 17,2 \qquad x = ? \qquad e = 19,8$$

$$X = 17,2 + \left(\frac{7,1 - 7}{8 - 7} \right) (19,8 - 17,2) = 17,46$$

$$Kadar\ gula\ reduksi\ (\%) = \frac{17,46 \times 100/10}{0,503 \times 1000} \times 100 = 34,71 \%$$

5. Kadar Sukrosa Gula Cair Sorgum d1t3 U1

Diketahui :

Wsampel = 0,503 gram

Vlarutan A = 5,60 mL

Vlarutan B = 11,55 mL

Vblanko = 12,80 mL

N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ = 0,0984 N

Fp = 100/10.100/10

Ditanyakan : Kadar Sukrosa ?

- Larutan B

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb - Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80 - 11,55) 0,0984}{0,1} = 1,2$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 1 \qquad b = 1,2 \qquad c = 2$$

$$d = 2,4 \qquad x = ? \qquad e = 4,8$$

$$X = 2,4 + \left(\frac{1,2 - 1}{2 - 1} \right) (4,8 - 2,4) = 2,88$$

$$Kadar \text{ gula setelah inverse } (\%) = \frac{2,88 \times \frac{100}{10} \times 100/10}{0,503 \times 1000} \times 100 = 57,26\%$$

$$Kadar \text{ sukrosa } (\%) = [(57,26 - 34,71) 0,95] = 21,42 \%$$

$$Gula \text{ total} = 34,71 + 21,42 = 56,13 \%$$

6). Kadar Gula Reduksi Gula Sorgum d1t3 U2

Diketahui :

$$W_{\text{sampel}} = 0,505 \text{ gram}$$

$$F_p = 100/10$$

$$V_{\text{sampel}} = 5,55 \text{ mL}$$

$$V_{\text{blanko}} = 12,80 \text{ mL } N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 =$$

$$0,0984 \text{ N}$$

Ditanyakan : Kadar Gula

Reduksi? Jawab :

$$mL \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \frac{(V_b - V_s) N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}{0,1}$$

$$mL \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \frac{(12,80 - 5,55) 0,0984}{0,1} = 7,1$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 7 \qquad b = 7,1 \qquad c = 8$$

$$d = 17,2 \qquad x = ? \qquad e = 19,8$$

$$X = 17,2 + \left(\frac{7,1 - 7}{8 - 7} \right) (19,8 - 17,2) = 17,46$$

$$\text{Kadar gula reduksi (\%)} = \frac{17,46 \times 100/10}{0,505 \times 1000} \times 100 = 34,57 \%$$

6. Kadar Sukrosa Gula Cair Sorgum d1t3 U2

Diketahui :

Wsampel = 0,505 gram

Vlarutan A = 5,55 mL

Vlarutan B = 11,60 mL

Vblanko = 12,80 mL

N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ = 0,0984 N

Fp = 100/10.100/10

Ditanyakan : Kadar Sukrosa ?

- Larutan B

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb - Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80 - 11,60) 0,0984}{0,1} = 1,2$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 1 \qquad b = 1,2 \qquad c = 2$$

$$d = 2,4 \qquad x = ? \qquad e = 4,8$$

$$X = 2,4 + \left(\frac{1,2 - 1}{2 - 1} \right) (4,8 - 2,4) = 2,88$$

$$Kadar \text{ gula setelah inverse } (\%) = \frac{2,88 \times \frac{100}{10} \times 100/10}{0,505 \times 1000} \times 100 = 57,03\%$$

$$Kadar \text{ sukrosa } (\%) = [(57,03 - 34,57) 0,95] = 21,34 \%$$

$$Gula \text{ total} = 34,57 + 21,34 = 55,91 \%$$

7). Kadar Gula Reduksi Gula Sorgum d2t1 U1

Diketahui :

$$W_{\text{sampel}} = 0,499 \text{ gram}$$

$$F_p = 100/10$$

$$V_{\text{sampel}} = 5,52 \text{ mL}$$

$$V_{\text{blanko}} = 12,80 \text{ mL } N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 =$$

$$0,0984 \text{ N}$$

Ditanyakan : Kadar Gula

Reduksi? Jawab :

$$mL \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \frac{(V_b - V_s) N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}{0,1}$$

$$mL \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \frac{(12,80 - 5,52) 0,0984}{0,1} = 7,2$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 7 \qquad b = 7,2 \qquad c = 8$$

$$d = 17,2 \qquad x = ? \qquad e = 19,8$$

$$X = 17,2 + \left(\frac{7,2 - 7}{8 - 7} \right) (19,8 - 17,2) = 17,72$$

$$\text{Kadar gula reduksi (\%)} = \frac{17,72 \times 100/10}{0,499 \times 1000} \times 100 = 35,51 \%$$

7. Kadar Sukrosa Gula Cair Sorgum d2t1 U1

Diketahui :

$W_{\text{sampel}} = 0,499 \text{ gram}$

$V_{\text{larutan A}} = 5,52 \text{ mL}$

$V_{\text{larutan B}} = 11,65 \text{ mL}$

$V_{\text{blanko}} = 12,80 \text{ mL}$

$N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 0,0984 \text{ N}$

$F_p = 100/10.100/10$

Ditanyakan : Kadar Sukrosa ?

- Larutan B

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb - Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80 - 11,65) 0,0984}{0,1} = 1,1$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 1 \qquad b = 1,1 \qquad c = 2$$

$$d = 2,4 \qquad x = ? \qquad e = 4,8$$

$$X = 2,4 + \left(\frac{1,1 - 1}{2 - 1} \right) (4,8 - 2,4) = 2,64$$

$$Kadar \text{ gula setelah inverse } (\%) = \frac{2,64 \times \frac{100}{10} \times 100/10}{0,499 \times 1000} \times 100 = 52,91\%$$

$$Kadar \text{ sukrosa } (\%) = [(52,91 - 35,51) 0,95] = 16,53 \%$$

$$Gula \text{ total} = 35,51 + 16,53 = 52,04 \%$$

8). Kadar Gula Reduksi Gula Sorgum d2t1 U2

Diketahui :

Wsampel = 0,501 gram

Fp = 100/10

Vsampel = 5,45 mL

Vblanko = 12,80 mL N Na₂S₂O₃ =

0,0984 N

Ditanyakan : Kadar Gula

Reduksi? Jawab :

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb-Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80-5,45) 0,0984}{0,1} = 7,2$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 7 \qquad b = 7,2 \qquad c = 8$$

$$d = 17,2 \qquad x = ? \qquad e = 19,8$$

$$X = 17,2 + \left(\frac{7,2 - 7}{8 - 7} \right) (19,8 - 17,2) = 17,72$$

$$Kadar\ gula\ reduksi\ (\%) = \frac{17,72 \times 100/10}{0,501 \times 1000} \times 100 = 35,37 \%$$

8. Kadar Sukrosa Gula Cair Sorgum d2t1 U2

Diketahui :

Wsampel = 0,499 gram

Vlarutan A = 5,45 mL

Vlarutan B = 11,70 mL

Vblanko = 12,80 mL

N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ = 0,0984 N

Fp = 100/10.100/10

Ditanyakan : Kadar Sukrosa ?

- Larutan B

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb - Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80 - 11,70) 0,0984}{0,1} = 1,1$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 1 \qquad b = 1,1 \qquad c = 2$$

$$d = 2,4 \qquad x = ? \qquad e = 4,8$$

$$X = 2,4 + \left(\frac{1,1 - 1}{2 - 1} \right) (4,8 - 2,4) = 2,64$$

$$Kadar \text{ gula setelah inverse } (\%) = \frac{2,64 \times \frac{100}{10} \times 100/10}{0,501 \times 1000} \times 100 = 52,70\%$$

$$Kadar \text{ sukrosa } (\%) = [(52,70 - 35,37) 0,95] = 16,46 \%$$

$$Gula \text{ total} = 35,37 + 16,46 = 51,83 \%$$

9). Kadar Gula Reduksi Gula Sorgum d2t2 U1

Diketahui :

$$W_{\text{sampel}} = 0,500 \text{ gram}$$

$$F_p = 100/10$$

$$V_{\text{sampel}} = 5,40 \text{ mL}$$

$$V_{\text{blanko}} = 12,80 \text{ mL } N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 =$$

$$0,0984 \text{ N}$$

Ditanyakan : Kadar Gula

Reduksi? Jawab :

$$mL \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \frac{(V_b - V_s) N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}{0,1}$$

$$mL \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \frac{(12,80 - 5,40) 0,0984}{0,1} = 7,3$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 7 \qquad b = 7,3 \qquad c = 8$$

$$d = 17,2 \qquad x = ? \qquad e = 19,8$$

$$X = 17,2 + \left(\frac{7,3 - 7}{8 - 7} \right) (19,8 - 17,2) = 17,98$$

$$\text{Kadar gula reduksi (\%)} = \frac{17,98 \times 100/10}{0,500 \times 1000} \times 100 = 35,96 \%$$

9. Kadar Sukrosa Gula Cair Sorgum d2t2 U1

Diketahui :

$W_{\text{sampel}} = 0,500 \text{ gram}$

$V_{\text{larutan A}} = 5,40 \text{ mL}$

$V_{\text{larutan B}} = 11,80 \text{ mL}$

$V_{\text{blanko}} = 12,80 \text{ mL}$

$N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 0,0984 \text{ N}$

$F_p = 100/10.100/10$

Ditanyakan : Kadar Sukrosa ?

- Larutan B

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb - Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80 - 11,80) 0,0984}{0,1} = 1,0$$

$$X = 2,4$$

$$Kadar\ gula\ setelah\ inverse\ (\%) = \frac{2,4 \times \frac{100}{10} \times 100/10}{0,500 \times 1000} \times 100 = 48,00\%$$

$$Kadar\ sukrosa\ (\%) = [(48,00 - 35,96) 0,95] = 11,44\ \%$$

$$\underline{Gula\ total} = 35,96 + 11,44 = 47,40\ \%$$

10). Kadar Gula Reduksi Gula Sorgum d2t3 U2

Diketahui :

Wsampel = 0,498 gram

Fp = 100/10

Vsampel = 5,42 mL

Vblanko = 12,80 mL N Na₂S₂O₃ =

0,0984 N

Ditanyakan : Kadar Gula

Reduksi? Jawab :

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb-Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80-5,42) 0,0984}{0,1} = 7,3$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 7 \qquad b = 7,3 \qquad c = 8$$

$$d = 17,2 \qquad x = ? \qquad e = 19,8$$

$$X = 17,2 + \left(\frac{7,3 - 7}{8 - 7} \right) (19,8 - 17,2) = 17,98$$

$$Kadar\ gula\ reduksi\ (\%) = \frac{17,98 \times 100/10}{0,498 \times 1000} \times 100 = 36,10 \%$$

10. Kadar Sukrosa Gula Cair Sorgum d2t2 U2

Diketahui :

$W_{\text{sampel}} = 0,498 \text{ gram}$

$V_{\text{larutan A}} = 5,45 \text{ mL}$

$V_{\text{larutan B}} = 11,75 \text{ mL}$

$V_{\text{blanko}} = 12,80 \text{ mL}$

$N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 0,0984 \text{ N}$

$F_p = 100/10.100/10$

Ditanyakan : Kadar Sukrosa ?

- Larutan B

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb - Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80 - 11,75) 0,0984}{0,1} = 1,0$$

$$X = 2,4$$

$$Kadar\ gula\ setelah\ inverse\ (\%) = \frac{2,4 \times \frac{100}{10} \times 100/10}{0,498 \times 1000} \times 100 = 48,19\%$$

$$Kadar\ sukrosa\ (\%) = [(48,19 - 36,10) 0,95] = 11,49\%$$

$$\underline{Gula\ total} = 36,10 + 11,49 = 47,59\%$$

11). Kadar Gula Reduksi Gula Sorgum d2t3 U1

Diketahui :

Wsampel = 0,502 gram

Fp = 100/10

Vsampil = 5,65 mL

Vblanko = 12,80 mL N Na₂S₂O₃ =

0,0984 N

Ditanyakan : Kadar Gula

Reduksi? Jawab :

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb-Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80-5,65) 0,0984}{0,1} = 7,0$$

$$X = 17,2$$

————

$$Kadar\ gula\ reduksi\ (\%) = \frac{17,2 \times 100/10}{0,502 \times 1000} \times 100 = 34,26 \%$$

11. Kadar Sukrosa Gula Cair Sorgum d2t3 U1

Diketahui :

Wsampel = 0,502 gram

Vlarutan A = 5,65 mL

Vlarutan B = 11,50 mL

Vblanko = 12,80 mL

N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ = 0,0984 N

Fp = 100/10.100/10

Ditanyakan : Kadar Sukrosa ?

- Larutan B

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb - Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80 - 11,50) 0,0984}{0,1} = 1,3$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 1 \qquad b = 1,3 \qquad c = 2$$

$$d = 2,4 \qquad x = ? \qquad e = 4,8$$

$$X = 2,4 + \left(\frac{1,3 - 1}{2 - 1} \right) (4,8 - 2,4) = 3,12$$

$$Kadar \text{ gula setelah inverse } (\%) = \frac{3,12 \times \frac{100}{10} \times 100/10}{0,502 \times 1000} \times 100 = 62,15\%$$

$$Kadar \text{ sukrosa } (\%) = [(62,15 - 34,26) 0,95] = 26,50 \%$$

$$Gula \text{ total} = 34,26 + 26,50 = 60,76 \%$$

12). Kadar Gula Reduksi Gula Sorgum d2t3 U2

Diketahui :

Wsampel = 0,503 gram

Fp = 100/10

Vsampil = 5,60 mL

Vblanko = 12,80 mL N Na₂S₂O₃ =

0,0984 N

Ditanyakan : Kadar Gula

Reduksi? Jawab :

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb-Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80-5,60) 0,0984}{0,1} = 7,1$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 7 \quad b = 7,1 \quad c = 8$$

$$d = 17,2 \quad x = ? \quad e = 19,8$$

$$X = 17,2 + \left(\frac{7,1 - 7}{8 - 7} \right) (19,8 - 17,2) = 17,46$$

$$Kadar\ gula\ reduksi\ (\%) = \frac{17,46 \times 100/10}{0,503 \times 1000} \times 100 = 34,71 \%$$

12. Kadar Sukrosa Gula Cair Sorgum d2t3 U2

Diketahui :

$W_{\text{sampel}} = 0,503 \text{ gram}$

$V_{\text{larutan A}} = 5,60 \text{ mL}$

$V_{\text{larutan B}} = 11,52 \text{ mL}$

$V_{\text{blanko}} = 12,80 \text{ mL}$

$N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 0,0984 \text{ N}$

$F_p = 100/10.100/10$

Ditanyakan : Kadar Sukrosa ?

- Larutan B

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb - Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80 - 11,52) 0,0984}{0,1} = 1,3$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 1 \qquad b = 1,3 \qquad c = 2$$

$$d = 2,4 \qquad x = ? \qquad e = 4,8$$

$$X = 2,4 + \left(\frac{1,3 - 1}{2 - 1} \right) (4,8 - 2,4) = 3,12$$

$$Kadar \text{ gula setelah inverse } (\%) = \frac{3,12 \times \frac{100}{10} \times 100/10}{0,503 \times 1000} \times 100 = 62,03\%$$

$$Kadar \text{ sukrosa } (\%) = [(62,03 - 34,71) 0,95] = 25,95 \%$$

$$Gula \text{ total} = 34,71 + 25,95 = 60,66 \%$$

13). Kadar Gula Reduksi Gula Sorgum d3t1 U1

Diketahui :

Wsampel = 0,498 gram

Fp = 100/10

Vsampel = 5,58 mL

Vblanko = 12,80 mL N Na₂S₂O₃ =

0,0984 N

Ditanyakan : Kadar Gula

Reduksi? Jawab :

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb-Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80-5,58) 0,0984}{0,1} = 7,1$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 7 \quad b = 7,1 \quad c = 8$$

$$d = 17,2 \quad x = ? \quad e = 19,8$$

$$X = 17,2 + \left(\frac{7,1 - 7}{8 - 7} \right) (19,8 - 17,2) = 17,46$$

$$Kadar\ gula\ reduksi\ (\%) = \frac{17,46 \times 100/10}{0,498 \times 1000} \times 100 = 35,06 \%$$

13. Kadar Sukrosa Gula Cair Sorgum d3t1 U1

Diketahui :

$W_{\text{sampel}} = 0,498 \text{ gram}$

$V_{\text{larutan A}} = 5,58 \text{ mL}$

$V_{\text{larutan B}} = 11,60 \text{ mL}$

$V_{\text{blanko}} = 12,80 \text{ mL}$

$N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 0,0984 \text{ N}$

$F_p = 100/10.100/10$

Ditanyakan : Kadar Sukrosa ?

- Larutan B

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb - Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80 - 11,60) 0,0984}{0,1} = 1,2$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 1 \qquad b = 1,2 \qquad c = 2$$

$$d = 2,4 \qquad x = ? \qquad e = 4,8$$

$$X = 2,4 + \left(\frac{1,2 - 1}{2 - 1} \right) (4,8 - 2,4) = 2,88$$

$$Kadar \text{ gula setelah inverse } (\%) = \frac{2,88 \times \frac{100}{10} \times 100/10}{0,498 \times 1000} \times 100 = 57,83\%$$

$$Kadar \text{ sukrosa } (\%) = [(57,83 - 35,06) 0,95] = 21,63 \%$$

$$Gula \text{ total} = 35,06 + 21,63 = 56,69 \%$$

14). Kadar Gula Reduksi Gula Sorgum d3t1 U2

Diketahui :

Wsampel = 0,497 gram

Fp = 100/10

Vsampel = 5,62 mL

Vblanko = 12,80 mL N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ =

0,0984 N

Ditanyakan : Kadar Gula

Reduksi? Jawab :

$$mL \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \frac{(Vb-Vs) N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}{0,1}$$

$$mL \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \frac{(12,80-5,62) 0,0984}{0,1} = 7,1$$

Interpolasi mg gula tabel :

a = 7 b = 7,1 c = 8

d = 17,2 x = ? e = 19,8

$$X = 17,2 + \left(\frac{7,1 - 7}{8 - 7} \right) (19,8 - 17,2) = 17,46$$

$$\text{Kadar gula reduksi (\%)} = \frac{17,46 \times 100/10}{0,497 \times 1000} \times 100 = 35,13 \%$$

14. Kadar Sukrosa Gula Cair Sorgum d3t1 U2

Diketahui :

Wsampel = 0,497 gram

Vlarutan A = 5,62 mL

Vlarutan B = 11,58 mL

Vblanko = 12,80 mL

N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ = 0,0984 N

Fp = 100/10.100/10

Ditanyakan : Kadar Sukrosa ?

- Larutan B

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb - Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80 - 11,58) 0,0984}{0,1} = 1,2$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 1 \qquad b = 1,2 \qquad c = 2$$

$$d = 2,4 \qquad x = ? \qquad e = 4,8$$

$$X = 2,4 + \left(\frac{1,2 - 1}{2 - 1} \right) (4,8 - 2,4) = 2,88$$

$$Kadar \text{ gula setelah inverse } (\%) = \frac{2,88 \times \frac{100}{10} \times 100/10}{0,497 \times 1000} \times 100 = 57,95\%$$

$$Kadar \text{ sukrosa } (\%) = [(57,95 - 35,13) 0,95] = 21,68 \%$$

$$Gula \text{ total} = 35,13 + 21,68 = 56,81 \%$$

15). Kadar Gula Reduksi Gula Sorgum d3t2 U1

Diketahui :

Wsampel = 0,504 gram

Fp = 100/10

Vsampel = 5,45 mL

Vblanko = 12,80 mL N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ =

0,0984 N

Ditanyakan : Kadar Gula

Reduksi? Jawab :

$$mL \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \frac{(Vb-Vs) N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}{0,1}$$

$$mL \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \frac{(12,80-5,45) 0,0984}{0,1} = 7,2$$

Interpolasi mg gula tabel :

a = 7 b = 7,2 c = 8

d = 17,2 x = ? e = 19,8

$$X = 17,2 + \left(\frac{7,2 - 7}{8 - 7} \right) (19,8 - 17,2) = 17,72$$

$$\text{Kadar gula reduksi (\%)} = \frac{17,72 \times 100/10}{0,504 \times 1000} \times 100 = 35,16 \%$$

15. Kadar Sukrosa Gula Cair Sorgum d3t2 U1

Diketahui :

$W_{\text{sampel}} = 0,504 \text{ gram}$

$V_{\text{larutan A}} = 5,45 \text{ mL}$

$V_{\text{larutan B}} = 11,75 \text{ mL}$

$V_{\text{blanko}} = 12,80 \text{ mL}$

$N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 0,0984 \text{ N}$

$F_p = 100/10.100/10$

Ditanyakan : Kadar Sukrosa ?

- Larutan B

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb - Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80 - 11,75) 0,0984}{0,1} = 1,0$$

$$X = 2,4$$

$$Kadar\ gula\ setelah\ inverse\ (\%) = \frac{2,4 \times \frac{100}{10} \times 100/10}{0,504 \times 1000} \times 100 = 47,62\%$$

$$Kadar\ sukrosa\ (\%) = [(47,62 - 35,16) 0,95] = 11,84\%$$

$$\underline{Gula\ total} = 35,16 + 11,84 = 47,00\%$$

16). Kadar Gula Reduksi Gula Sorgum d3t2 U2

Diketahui :

Wsampel = 0,505 gram

Fp = 100/10

Vsampil = 5,48 mL

Vblanko = 12,80 mL N Na₂S₂O₃ =

0,0984 N

Ditanyakan : Kadar Gula

Reduksi? Jawab :

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb-Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80-5,48) 0,0984}{0,1} = 7,2$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 7 \quad b = 7,2 \quad c = 8$$

$$d = 17,2 \quad x = ? \quad e = 19,8$$

$$X = 17,2 + \left(\frac{7,2 - 7}{8 - 7} \right) (19,8 - 17,2) = 17,72$$

$$Kadar\ gula\ reduksi\ (\%) = \frac{17,72 \times 100/10}{0,505 \times 1000} \times 100 = 35,05 \%$$

16. Kadar Sukrosa Gula Cair Sorgum d3t2 U2

Diketahui :

$W_{\text{sampel}} = 0,505 \text{ gram}$

$V_{\text{larutan A}} = 5,48 \text{ mL}$

$V_{\text{larutan B}} = 11,72 \text{ mL}$

$V_{\text{blanko}} = 12,80 \text{ mL}$

$N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 0,0984 \text{ N}$

$F_p = 100/10.100/10$

Ditanyakan : Kadar Sukrosa ?

- Larutan B

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb - Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80 - 11,72) 0,0984}{0,1} = 1,1$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 1 \qquad b = 1,1 \qquad c = 2$$

$$d = 2,4 \qquad x = ? \qquad e = 4,8$$

$$X = 2,4 + \left(\frac{1,1 - 1}{2 - 1} \right) (4,8 - 2,4) = 2,64$$

$$Kadar \text{ gula setelah inverse } (\%) = \frac{2,64 \times \frac{100}{10} \times 100/10}{0,505 \times 1000} \times 100 = 52,28\%$$

$$Kadar \text{ sukrosa } (\%) = [(52,28 - 35,09) 0,95] = 16,33 \%$$

$$Gula \text{ total} = 35,09 + 16,33 = 51,42 \%$$

17). Kadar Gula Reduksi Gula Sorgum d3t3 U1

Diketahui :

Wsampel = 0,500 gram

Fp = 100/10

Vsampel = 5,62 mL

Vblanko = 12,80 mL N Na₂S₂O₃ =

0,0984 N

Ditanyakan : Kadar Gula

Reduksi? Jawab :

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb-Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80-5,62) 0,0984}{0,1} = 7,1$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 7 \quad b = 7,1 \quad c = 8$$

$$d = 17,2 \quad x = ? \quad e = 19,8$$

$$X = 17,2 + \left(\frac{7,1 - 7}{8 - 7} \right) (19,8 - 17,2) = 17,46$$

$$Kadar\ gula\ reduksi\ (\%) = \frac{17,46 \times 100/10}{0,500 \times 1000} \times 100 = 34,92 \%$$

17. Kadar Sukrosa Gula Cair Sorgum d3t3 U1

Diketahui :

$W_{\text{sampel}} = 0,500 \text{ gram}$

$V_{\text{larutan A}} = 5,62 \text{ mL}$

$V_{\text{larutan B}} = 11,55 \text{ mL}$

$V_{\text{blanko}} = 12,80 \text{ mL}$

$N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 0,0984 \text{ N}$

$F_p = 100/10.100/10$

Ditanyakan : Kadar Sukrosa ?

- Larutan B

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb - Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80 - 11,55) 0,0984}{0,1} = 1,2$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 1 \qquad b = 1,2 \qquad c = 2$$

$$d = 2,4 \qquad x = ? \qquad e = 4,8$$

$$X = 2,4 + \left(\frac{1,2 - 1}{2 - 1} \right) (4,8 - 2,4) = 2,88$$

$$Kadar \text{ gula setelah inverse } (\%) = \frac{2,88 \times \frac{100}{10} \times 100/10}{0,500 \times 1000} \times 100 = 57,60\%$$

$$Kadar \text{ sukrosa } (\%) = [(57,60 - 34,92) 0,95] = 21,55 \%$$

$$Gula \text{ total} = 34,92 + 21,55 = 56,47 \%$$

18). Kadar Gula Reduksi Gula Sorgum d3t3 U2

Diketahui :

Wsampel = 0,499 gram

Fp = 100/10

Vsampil = 5,65 mL

Vblanko = 12,80 mL N Na₂S₂O₃ =

0,0984 N

Ditanyakan : Kadar Gula

Reduksi? Jawab :

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb-Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80-5,65) 0,0984}{0,1} = 7,0$$

$$X = 17,2$$

$$Kadar gula reduksi (\%) = \frac{17,2 \times 100/10}{0,499 \times 1000} \times 100 = 34,47 \%$$

18. Kadar Sukrosa Gula Cair Sorgum d3t3 U2

Diketahui :

$W_{\text{sampel}} = 0,499 \text{ gram}$

$V_{\text{larutan A}} = 5,65 \text{ mL}$

$V_{\text{larutan B}} = 11,50 \text{ mL}$

$V_{\text{blanko}} = 12,80 \text{ mL}$

$N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 0,0984 \text{ N}$

$F_p = 100/10.100/10$

Ditanyakan : Kadar Sukrosa ?

- Larutan B

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(Vb - Vs) N Na_2S_2O_3}{0,1}$$

$$mL Na_2S_2O_3 = \frac{(12,80 - 11,50) 0,0984}{0,1} = 1,3$$

Interpolasi mg gula tabel :

$$a = 1 \qquad b = 1,3 \qquad c = 2$$

$$d = 2,4 \qquad x = ? \qquad e = 4,8$$

$$X = 2,4 + \left(\frac{1,3 - 1}{2 - 1} \right) (4,8 - 2,4) = 3,12$$

$$Kadar \text{ gula setelah inverse } (\%) = \frac{3,13 \times \frac{100}{10} \times 100/10}{0,499 \times 1000} \times 100 = 62,53 \%$$

$$Kadar \text{ sukrosa } (\%) = [(62,53 - 34,47) 0,95] = 26,66 \%$$

$$Gula \text{ total} = 34,47 + 26,66 = 61,13 \%$$

Lampiran 10 Dokumentasi Analisis Respon Gula Cair Sorgum Pada Penelitian Utama

