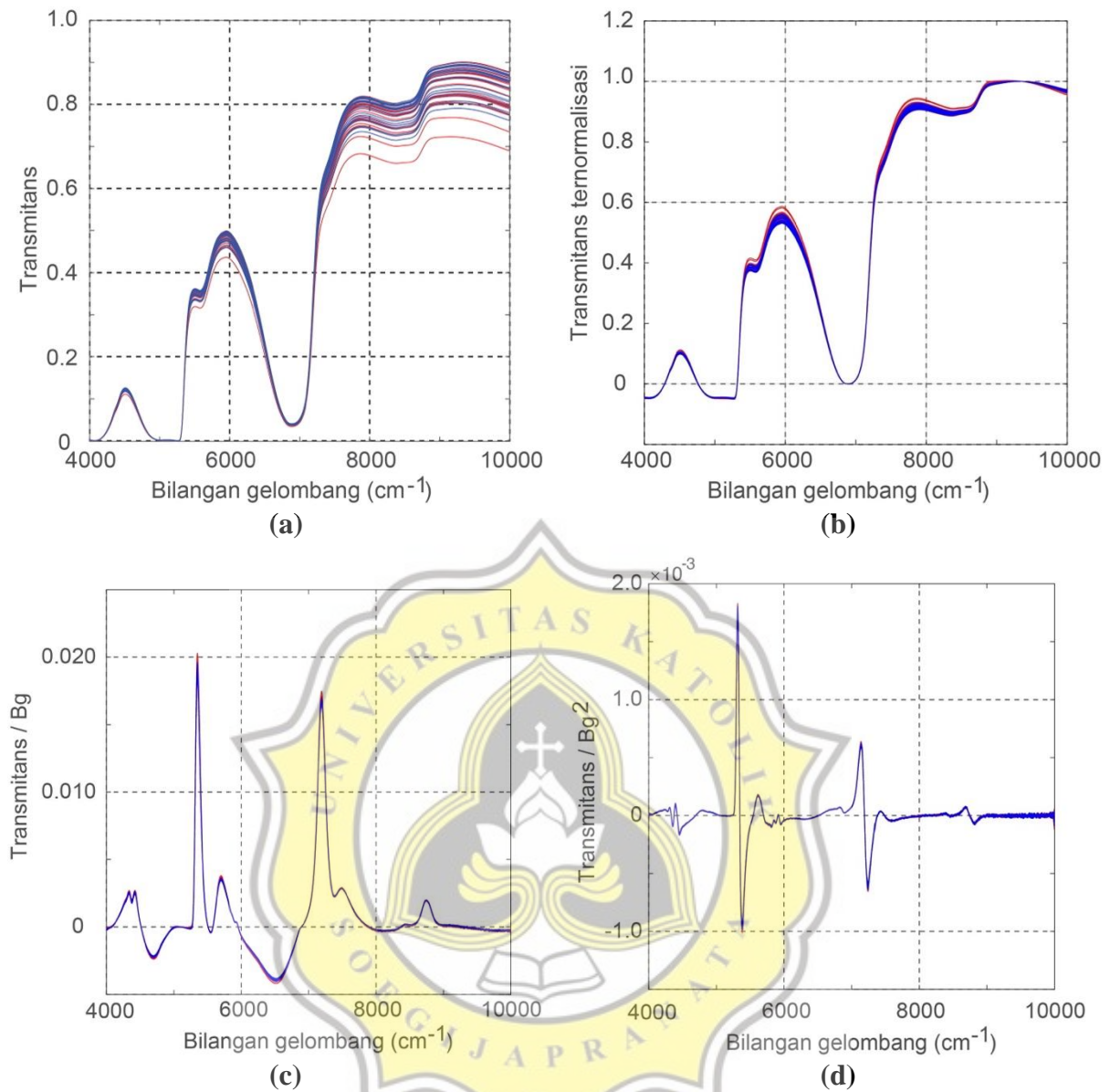


3. HASIL DAN ANALISIS

3.1. Gula Kelapa dan Gula Lontar

3.1.1. Spektrum NIR

Hasil pengukuran spektrum NIR untuk 44 sampel yang terdiri dari 23 larutan gula kelapa dan 21 larutan gula lontar di tunjukkan pada Gambar 8(a). Bentangan spektrum yang diukur adalah $4000 - 10000 \text{ cm}^{-1}$ dengan interval 4 cm^{-1} . Jadi tiap spektrum terdiri dari 1501 data. Spektrum transmitans NIR untuk keseluruhan sampel ini nampak memiliki fitur yang sama yaitu dua serapan kuat pada bilangan gelombang $4900 - 5300 \text{ cm}^{-1}$ dan 6876 cm^{-1} . Pola serapan ini menyerupai spektrum NIR untuk air. Jika diperhatikan, serapan pada daerah $4900 - 5300 \text{ cm}^{-1}$ sudah menyentuh transmitans mendekati nol yang berarti serapan ini sudah mengalami saturasi. Umumnya serapan air pada bentangan ini seorde lebih besar dari serapan kuat pada daerah 6875 cm^{-1} . Spektrum NIR juga terlihat mengalami hamburan multiplikatif yang ditunjukkan dengan fluktuasi transmittance pada daerah bilangan gelombang di atas 7500 cm^{-1} . Selain itu variasi garis basis (*baseline*) juga sebenarnya selalu hadir bersamaan dengan spektrum NIR itu sendiri. Untuk mengatasi masalah ini maka spektrum NIR mula-mula dinormalisasi pada dua titik yang berada di sekitar serapan tertinggi dan terendah. Dalam hal ini normalisasi dipilih pada bilangan gelombang 6880 cm^{-1} sebagai nilai transmitans nol dan 9350 cm^{-1} sebagai nilai transmitans tertinggi yaitu 1. Hasilnya ditunjukkan pada gambar 8(b). Selanjutnya variasi garis basis dan variasi akibat hamburan dieliminasi dengan melakukan derivasi spektrum seperti ditunjukkan pada gambar 8(c). Daya pisah spektrum selanjutnya dapat ditingkatkan dengan melakukan derivasi kedua yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 8(d).

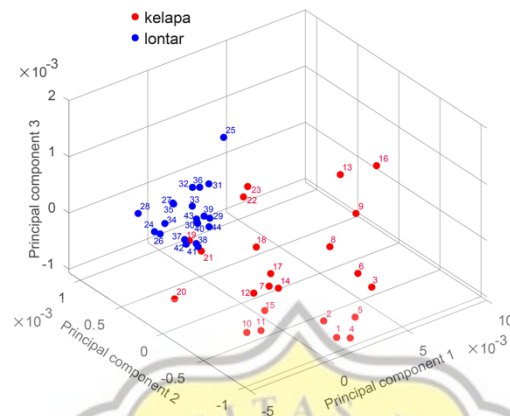


Gambar 8. Spektrum NIR gula kelapa (merah) dan gula lontar (biru) yang dinyatakan dalam bentuk (a) transmitans, (b) transmitans ternormalisasi, (c) turunan pertama dan (d) turunan kedua

3.1.2. Analisis PCA

Seperti nampak pada Gambar 8, spektrum gula lontar dan gula kelapa nampak mirip satu sama lain. Untuk mengetahui apakah PCA dapat membedakan kedua kelompok sampel berdasarkan spektrum NIR maka diterapkan kalkulasi PCA berdasarkan persamaan pada sub bagian 1.2.4 di atas. Spektrum yang digunakan sebagai basis perhitungan PCA adalah spektrum turunan pertama (Gambar 8(c)) dengan bentangan spektrum dari 4000 – 1000 cm⁻¹. PC-score yang digunakan adalah 3 vektor pertama yaitu PC1, PC2 dan PC3. Hasil

plot PC1, PC2, PC3 ditunjukkan pada Gambar 9. PC 1 memiliki nilai 86,94%, PC2 memiliki nilai 5.52% dan PC3 memiliki 4.14% sehingga keseluruhannya mencapai 96,61%. Artinya dengan menampilkan hasil analisis PC1, PC2, PC3 maka 96,61% data telah dapat dijelaskan dengan hasil ini.



Gambar 9. Analisis PCA gula kelapa (merah) dan gula lontar (biru) yang masing-masing sample diwakili dengan satu titik yang dinomori berdasarkan kode sampel

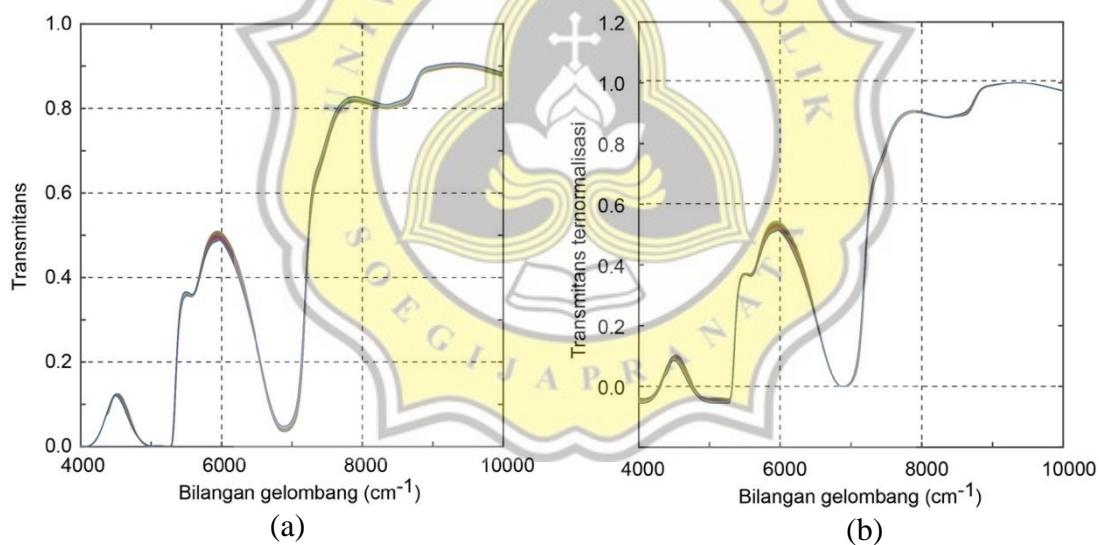
Berdasarkan Gambar 9, terlihat bahwa spektrum gula lontar (biru) dan gula kelapa (merah) terpisah sehingga secara umum spektrum gula lontar dan gula kelapa memang berbeda meskipun secara kasat mata spektrum tersebut NIR nampak hampir tumpang tidih (mirip). Didapati pula bahwa data gula lontar cenderung mengumpul sedangkan data gula kelapa relatif lebih menyebar.

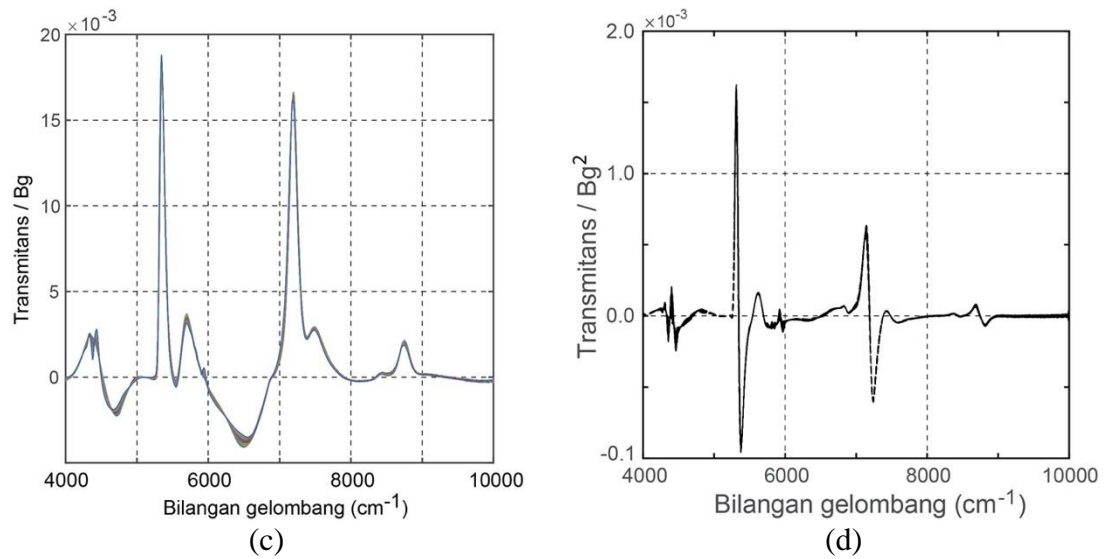
3.2. Larutan Kalibrasi dan Validasi Glukosa, Sukrosa, dan Fruktosa

3.2.1. Spektrum NIR dari Larutan Glukosa, Sukrosa, dan Fruktosa

Sebanyak 512 data kalibrasi yang merupakan larutan dari glukosa, sukrosa dan fruktosa pada akuades dengan berbagai kombinasi konsentrasi yang sudah dipaparkan pada bagian 2.4.1 ditunjukkan pada Gambar 10. Spektrum transmitans larutan ini didominasi oleh serapan air (lihat pembahasan spektrum larutan gula kelapa dan lontar pada bagian 3.1.1). Pada set data ini perlakuan yang diterapkan meliputi normalisasi pada bilangan gelombang 6880 cm^{-1} sebagai nilai transmitans nol dan pada bilangan gelombang 9350 cm^{-1} sebagai nilai transmitans 1. Pemilihan nilai bilangan gelombang normalisasi ini sebetulnya bersifat arbitrase namun karena p-a perlakuan spektrum kalibrasi harus sama

dengan spektrum material uji maka pemilihan bilangan gelombang ini disamakan dengan bilangan gelombang yang digunakan ketika melakukan normalisasi sepektrum gula kelapa dan gula lontar. Hasil normalisasi ini ditunjukkan pada Gambar 10b. Nampak bahwa sepektrum kalibrasi hampir tumpang tindih satu sama lain kecuali pada bentangan sekitar 4500 cm^{-1} dan 5900 cm^{-1} , dimana pada bentangan ini ada tendensi spektrum yang menyimpang sesuai konsentrasi glukosa, sukrosa, dan fruktosa. Untuk mempertegas pengamatan ini maka seluruh spektrum diturunkan berturut-turut sebanyak satu kali dan dua kali seperti dimana hasilnya ditunjukkan berturut-turut pada Gambar 10c dan 10d. Dari sini terungkaplah bahwa bentangan spektrum yang paling sensitif terhadap perubahan konsentrasi glukosa, sukrosa, dan fruktosa, secara lebih akurat berada pada bentangan $4228 - 4688\text{ cm}^{-1}$ dan $5704 - 6040\text{ cm}^{-1}$. Dari hasil analisis ini terlihat bahwa spektrum turunan kedua selalu memberikan daya pisah yang lebih baik dibandingkan spektrum aslinya.

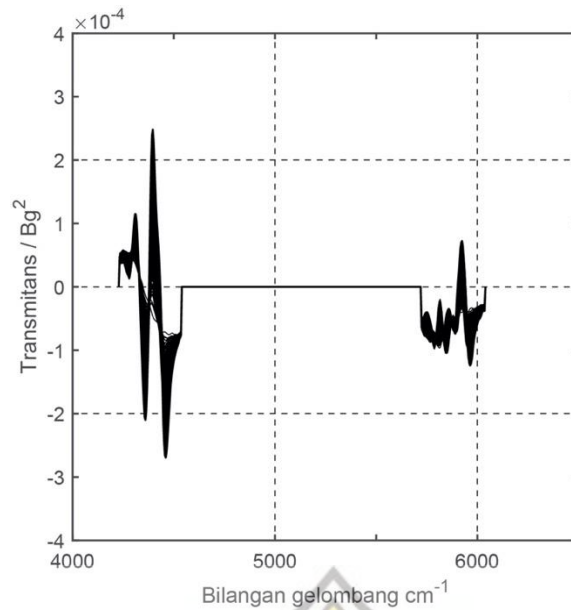




Gambar 10. Spektrum NIR dari larutan glukosa, sukrosa, dan fruktosa yang dinyatakan dalam bentuk (a) transmittans, (b) transmittans ternormalisasi, (c) turunan pertama, dan (d) turunan kedua

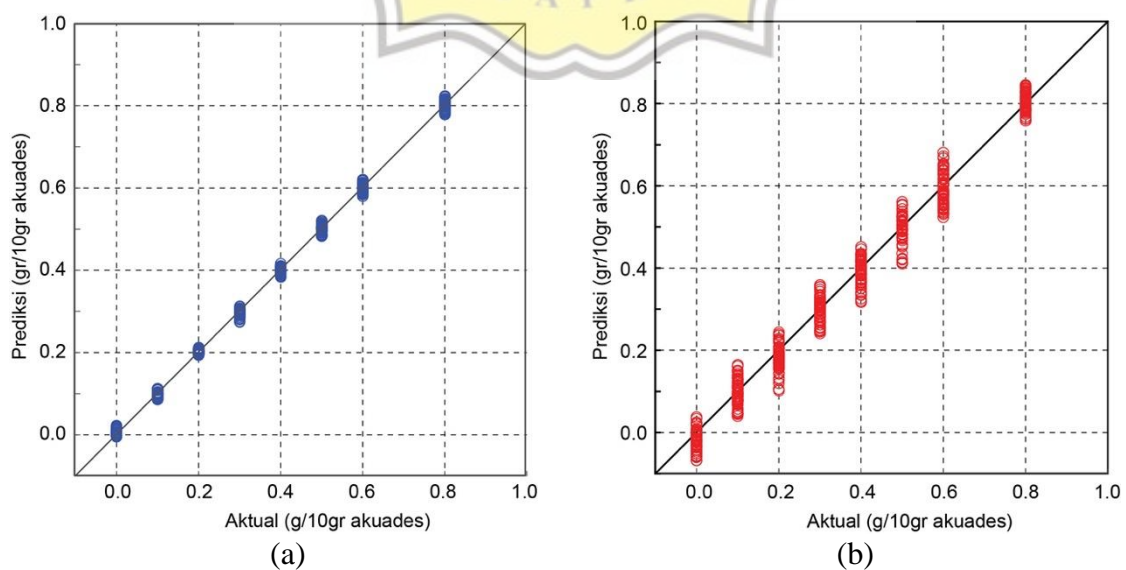
3.2.2. Pemodelan Kalibrasi dan Validasi Melalui PLSR

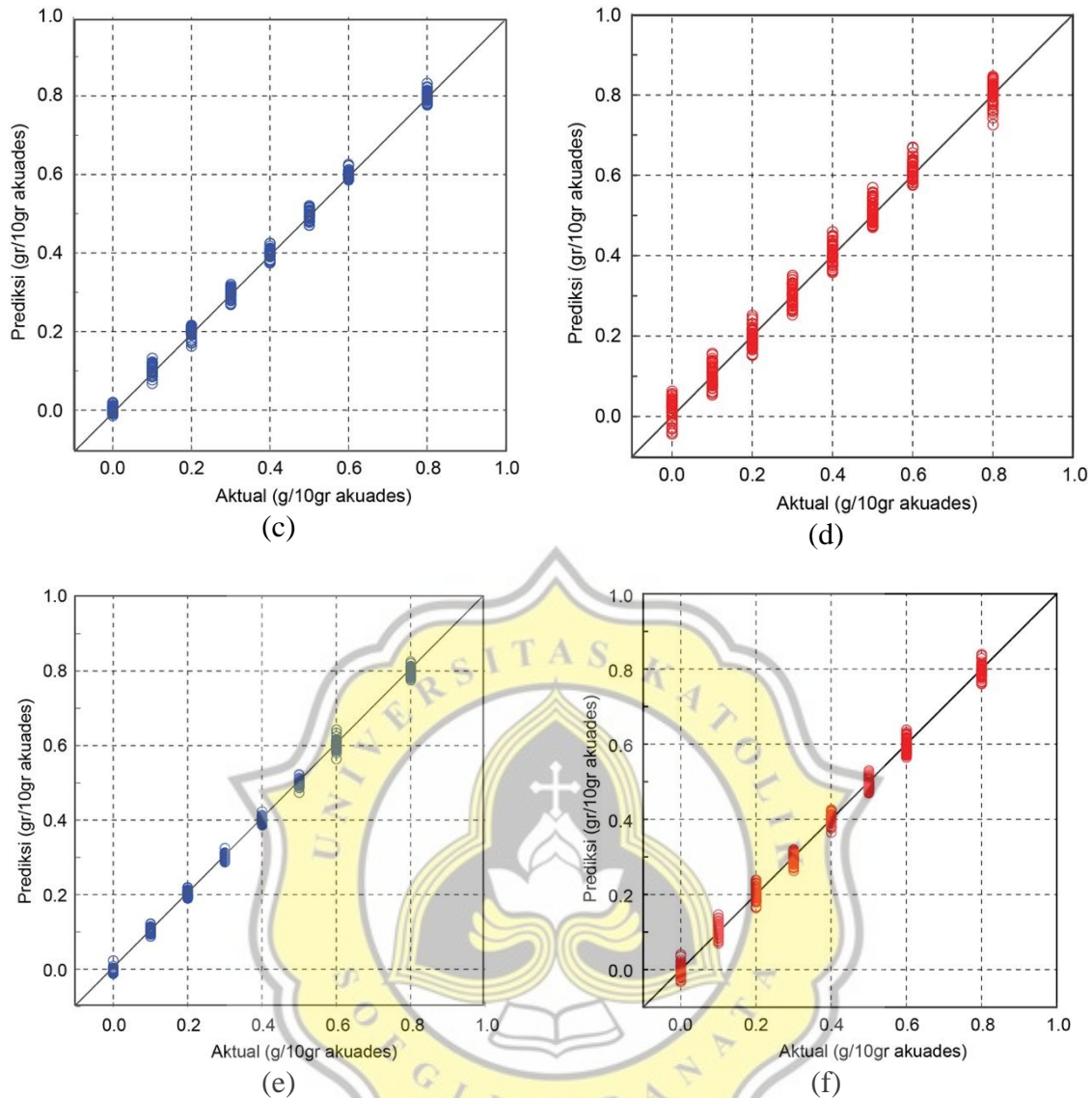
Untuk menaikkan kepekaan dan stabilitas model perhitungan menggunakan partial-least-square regression (PLSR) maka bentangan spektrum yang tidak sensitif terhadap perubahan komposisi glukosa, sukrosa, dan fruktosa perlu dihilangkan terlebih dahulu sebelum membangun model PLSR. Dari hasil dan analisis di bagian 3.1.1 jelaslah bahwa hanya bentangan $4228 - 4688 \text{ cm}^{-1}$ dan $5704 - 6040 \text{ cm}^{-1}$ yang memberikan sensitifitas yang jelas. Jika spektrum turunan kedua ini dari bentangan ini ditampilkan kembali maka akan nampak seperti Gambar 11.



Gambar 11. Bentangan spektrum analisis untuk PLS pada 2 daerah yaitu 4228-4688 cm^{-1} dan 5704-6040 cm^{-1}

Set spektrum pada Gambar 11 ini mula-mula digunakan sebagai set data kalibrasi dalam model PLSR yang disebut dengan data matriks X berdasarkan pada Persamaan 10. Variabel Y tidak lain adalah nilai kombinasi glukosa, sukrosa, dan fruktosa. Jadi y_1, y_2, y_3 berturut-turut adalah adalah vektor glukosa, sukrosa, dan sukrosa. Analisis PLSR menggunakan *coding* matlab (terlampir) untuk kalibrasi dan validasi ditunjukkan pada Gambar 12.



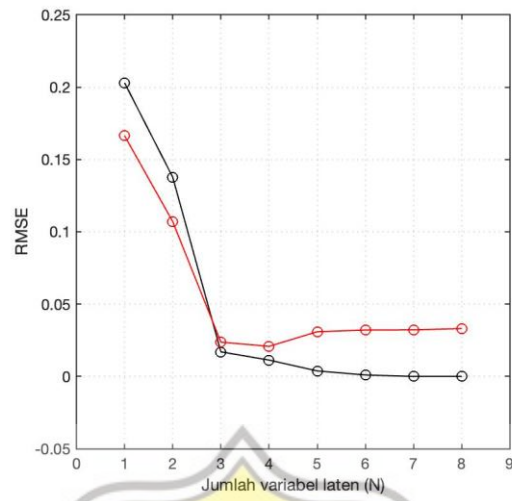


Gambar 12. Pemodelan pada PLSR untuk (a) kalibrasi glukosa, (b) validasi glukosa, (c) kalibrasi sukrosa, (d) validasi sukrosa, (e) kalibrasi fruktosa, dan (f) validasi fruktosa

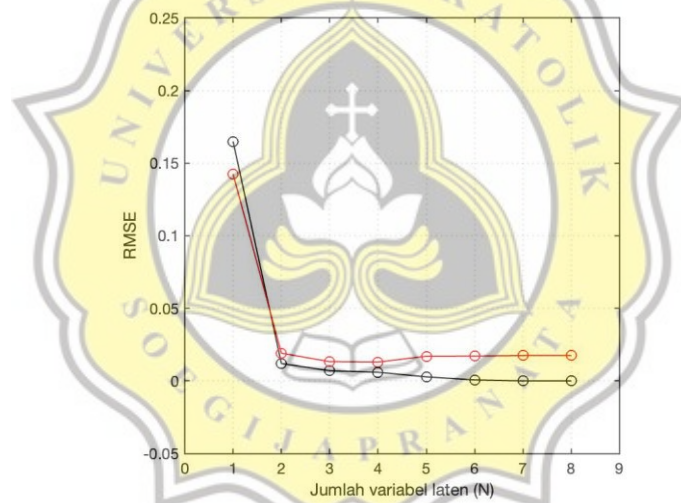
Validasi internal terhadap model dilakukan dengan metode *leave-one-out* dimana model dihitung sebanyak 512 kali dan setiap kali perhitungan 1 data dikeluarkan untuk dijadikan data uji. Hasil-hasil pada Gambar 12 ini merupakan yang terbaik dimana nilai *Root Mean Sum of Square Error* (RMSE) hasil validasi memberikan nilai minimum ketika jumlah variabel laten (N) berjumlah 4 seperti ditunjukkan pada Gambar 13. RMSE adalah selisih antara nilai sebenarnya dan nilai prediksi yang diabsolutkan kemudian dibagi dengan jumlah sampel. Secara matematis dinyatakan dengan persamaan:

$$RMSE = \frac{\sqrt{(y_p - y_r)^2}}{n} \quad (13)$$

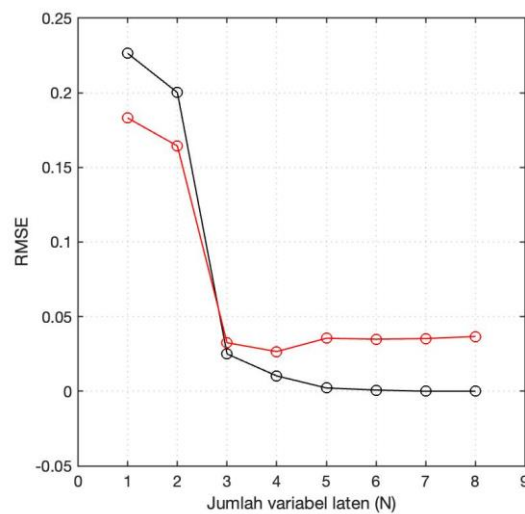
Dimana y_p adalah nilai prediksi, y_r adalah nilai rill dan n adalah jumlah sampel yang diukur.



(a)



(b)



(c)

Gambar 13. RMSE kalibrasi (hitam) dan validasi (merah) sebagai fungsi dari variabel laten untuk (a) glukosa, (b) sukrosa, dan (c) fruktosa. RMSE validasi terkecil untuk glukosa, sukrosa, dan fruktosa dicapai pada jumlah variabel laten $N = 4$

3.2.3. Pengujian Kandungan Glukosa, Sukrosa, dan Fruktosa pada Gula Kelapa dan Gula Lontar

Hasil pengujian kandungan glukosa, sukrosa, dan fruktosa pada sampel gula kelapa dan gula lontar yang diambil dari pasar dan sampel yang terkontrol pembuatannya dapat dilihat pada Tabel 4. Sampel nomor 1 sampai 23 adalah sampel untuk gula kelapa, sedangkan sampel dengan nomor 24 sampai 44 adalah sampel untuk gula lontar. Sampel gula kelapa murni tanpa campuran terdapat pada nomor 21 sampai 23. Sampel gula lontar murni tanpa campuran terdapat pada nomor 34 dan 35. Kandungan glukosa rata-rata yang terdapat pada gula kelapa yaitu sebesar 15,5% sedangkan pada gula lontar yaitu 14,4%, tetapi jika melihat standar deviasi yang sebesar 2,7% maka kandungan glukosa pada gula kelapa dan gula lontar sama. Kandungan fruktosa yang terdapat pada gula kelapa juga menunjukkan hasil yang lebih tinggi daripada gula lontar yaitu 5,7% sedangkan pada gula lontar yaitu 2,6%. Kandungan sukrosa pada gula lontar mendapatkan rata-rata hasil yang lebih tinggi dari gula kelapa yaitu 83,6% sedangkan pada gula kelapa 79,1%.

Tabel 4. Pengujian kandungan glukosa, sukrosa, dan fruktosa pada gula kelapa dan gula lontar

No	Kode Sampel	% Glukosa	% Sukrosa	% Fruktosa	Total (%)	Warna	Kristalisasi	Tekstur
1	Kelapa 1	17,2	71,8	11	100	cokelat tua	block	keras
2	Kelapa 2	17,5	70,9	11,4	100	cokelat tua	block	keras
3	Kelapa 3	24,5	70,4	12,6	100	cokelat tua	block	keras
4	Kelapa 4	18,1	71,1	10,4	100	cokelat tua	block	keras
5	Kelapa 5	15,8	73,7	11	100	cokelat tua	block	keras
6	Kelapa 6	21,4	75,6	11,1	100	cokelat	kilap	agak keras
7	Kelapa 7	18,4	73,3	10,1	100	cokelat tua	block	keras
8	Kelapa 8	24,8	72,7	10,3	100	cokelat tua	block	keras
9	Kelapa 9	31,7	66,4	10,9	100	cokelat tua	block	keras
10	Kelapa 10	9,7	78,9	2,4	100	cokelat	kilap	agak keras
11	Kelapa 11	4,8	85,2	2,5	100	cokelat muda	kilap	agak lunak
12	Kelapa 12	9,5	83,5	3,1	100	cokelat	kilap	agak keras
13	Kelapa 13	15,6	92,4	2,7	100	cokelat muda	kilap	agak lunak
14	Kelapa 14	7,5	82	1,8	100	cokelat	kilap	agak keras
15	Kelapa 15	7,6	81,4	2,5	100	cokelat	kilap	agak keras
16	Kelapa 16	27	83,8	1,8	100	cokelat muda	kilap	agak lunak
17	Kelapa 17	10,5	83,3	3,5	100	cokelat muda	kilap	agak lunak
18	Kelapa 18	10,2	88,8	0,9	100	cokelat muda	kilap	agak lunak
19	Kelapa 19	9,8	84,6	2,2	100	cokelat muda	kilap	agak lunak
20	Kelapa 20	9,2	78,6	0,7	100	cokelat muda	kilap	agak lunak
21	Kelapa 21	12,7	82,3	2,3	100	cokelat muda	kilap	agak lunak

No	Kode Sampel	% Glukosa	% Sukrosa	% Fruktosa	Total (%)	Warna	Kristalisasi	Tekstur
22	Kelapa 22	15,9	84,9	2,5	100	cokelat muda	kilap	agak lunak
23	Kelapa 23	16,2	84,6	3,4	100	cokelat muda	kilap	agak lunak
24	Lontar 1	11,8	86,3	0,3	100	cokelat muda	kilap	agak lunak
25	Lontar 2	16,3	93,2	2,2	100	cokelat muda	kilap	agak lunak
26	Lontar 3	7	85,1	0,8	100	cokelat muda	kilap	agak lunak
27	Lontar 4	12,4	85,7	-0,1	100	cokelat muda	kilap	agak lunak
28	Lontar 5	11,3	84,4	0,7	100	cokelat muda	kilap	agak lunak
29	Lontar 6	16,1	85,8	0,2	100	cokelat muda	kilap	agak lunak
30	Lontar 7	19,5	79,7	3,6	100	cokelat	kilap	agak keras
31	Lontar 8	22,2	84	2,6	100	cokelat muda	kilap	agak lunak
32	Lontar 9	21	78,6	7,1	100	cokelat	kilap	agak keras
33	Lontar 10	21,2	72	8,6	100	cokelat tua	block	keras
34	Lontar 11	14	86,8	2,5	100	cokelat muda	kilap	agak lunak
35	Lontar 12	20,1	83,7	1,3	100	cokelat muda	kilap	agak lunak
36	Lontar 13	10,7	93,4	1,6	100	cokelat muda	kilap	agak lunak
37	Lontar 14	9,5	85,7	1,1	100	cokelat muda	kilap	agak lunak
38	Lontar 15	7,6	91,8	-0,7	100	cokelat muda	kilap	agak lunak
39	Lontar 16	12	91,5	-1,1	100	cokelat muda	kilap	agak lunak
40	Lontar 17	11,6	86,9	1,2	100	cokelat muda	kilap	agak lunak
41	Lontar 18	13,5	79,4	3	100	cokelat	kilap	agak keras
42	Lontar 19	11,6	80,6	2,9	100	cokelat	kilap	agak keras
43	Lontar 20	16,1	70,4	8,1	100	cokelat tua	block	keras
44	Lontar 21	16,3	71,2	8,3	100	cokelat tua	block	keras

No	Kode Sampel	% Glukosa	% Sukrosa	% Fruktosa	Total (%)	Warna	Kristalisasi	Tekstur
	Standar deviasi	2,7	2,1	1,3				
	Rata-rata gula kelapa	15,5	79,1	5,7				
	Rata-rata gula lontar	14,4	83,6	2,6				

Ralat pendugaan untuk glukosa, sukrosa, dan fruktosa didapatkan dipilih sebesar dua kali standar deviasi yaitu berturut-turut $\pm 5,4\%$, $\pm 4,2\%$, $\pm 2,6\%$ dan $\pm 12,2\%$ untuk glukosa, sukrosa, fruktosa dan total. Ralat total merupakan kombinasi linear (jumlahan) dari ralat glukosa, sukrosa dan fruktosa. Ralat-ralat ini diambil dari nilai deviasi ketika melakukan validasi dari data larutan standar glukosa, sukrosa, dan fruktosa. Pada tabel 4 juga terdapat sifat yang terbentuk pada gula yaitu warna, adanya kristalisasi, dan tekstur yang terlihat.

