

Lampiran 1. Data karakteristik 48 tipe biomassa dan produk bioenergi dari berbagai sumber

No	Biomass Material	Proximate analysis (wt.%)				Ultimate analysis (wt.%)					Lignocellulosic composition (wt. %)				Pustaka
		Moisture	Fixed carbon	Volatiles	Ash	C	H	O	N	S	Extractives	Cellulose	Hemicelluloses	Lignin	
Agricultural Waste															
1	Tongkol Jagung	76,6	1,4	48,4	5,6	48,40	5,60	44,30	0,30	–	10,6	34,61	15,24	18,16	(Bhuiyan et al., 2018; Rabemanolontsoa & Saka, 2013)
2	Batang Jagung	69,47	5,4	45,02	3,99	45,02	3,99	44,75	0,84	0,32	9,8	42,7	23,2	17,5	(Qu et al., 2011; M, Yang et al., 2018)
3	Sekam Padi	54,68	20,61	34,94	5,46	34,94	5,46	38,86	0,11	–	13,1	37	16,5	13,6	(Qu et al., 2011)
4	Jerami Padi	60,28	17,19	35,21	4,79	35,21	4,79	33,38	0,8	0,17	-	41	21,5	9,9	https://phyllis.nl/Biomass/View/994 dan 2610
5	Kacang Tanah	70,76	3,5	48,21	5,29	48,21	5,29	39,17	0,76	0,06	-	37	10,6	39,1	https://phyllis.nl/Biomass/View/3942
6	Batang Sorgum	18,45	6,47	43,32	5,42	43,32	5,42	38,2	0,37	0,25		20	15	14	https://phyllis.nl/Biomass/View/2792 dan 2115
Plantation Waste															
7	Ampas Tebu	7,84	16,3	82,1	1,6	49,6	6	43,8	0,5	-	-	43,1	35,8	21,1	(Garcia-Pérez et al., 2002)
8	Daun-pucuk Tebu	33	9,97	51,86	5,1	26,63	3,69	31,38	0,12	-	2,3	35	35,5	17,4	(https://phyllis.nl/Biomass/View/2141 : IZDIHAR KHONSANI HANI, 2021)
9	Tandan Buah Kosong Sawit	56,79	6,58	34,29	2,34	24,89	3,9	12,01	0	0,07	20,35	56,05	17,63	5,97	Agung Wijono, 2014 : https://phyllis.nl/Biomass/View/3922)
10	Pelepah Sawit	5,85	15,2	14,43	1,3	44,51	4,53	41,4	0,71	0,07		34,89	27,14	19,87	(Muayyidul Haq et al, 2018 : Abdul Gafur 2017 : Sutini et al., 2019)
11	Cangkang Sawit	8,83	18,26	71,54	1,38	36,69	4,61	33,02	0,79	0,05	5,9	21,8	36,3	36	https://phyllis.nl/Biomass/View/2940 : Putri Agustina et al, 2023
12	Serat Sawit	2,33	21,26	72,13	4,28	48,32	6,56	36,71	2,89	0,1		58,94	23,91	17,15	(Shengqiang Chang et al., 2018 : Yan Kondo & Muhammad Arsyad, 2018)
13	Batang Kelapa Sawit	7,2	9,16	82,31	1,33	44,14	6,25	49,42	0,19	0	4	29	12	18	Rafidah Jalil et al., 2011 : Farhan M, Said et al,
14	Kulit Kakao	10,65	21,74	60,78	6,82	47	5,5	36,16	3,05	0,21		12,13	9,81	25,44	(https://phyllis.nl/Biomass/View/1767 ; Surono et al., 2020 : Sulistyaningtyas & Erin, 2021)
15	Batok Kelapa	4,4	25,24	67,4	2,96	47,43	5,19	0,09	-	-		25,91	24,54	35,72	https://phyllis.nl/Biomass/View/1919 dan 2555
16	Sabut Kelapa	14	26,8	70,3	2,9	47,17	6,54	43,39	-	-		37,9	15,5	33,5	(https://phyllis.nl/Biomass/View/1459 : Yan Kondo & Muhammad Arsyad, 2018 : Nanditho Azima Putra & Ananda Putra, 2023)
17	Kulit Kopi	11,4	27,73	57,24	3,63	37,3	4,08	42,14	1,36	0,08		42	12	2	(https://phyllis.nl/Biomass/View/1917 : Zulnazri et al., 2022)
18	Pohon Karet	6,24	12,75	80,36	0,65	44,24	7,52	48,23	19,31	0,31	9,91	20,13	77,04	2,63	(Singh et al., 2020 ; Adillah Shariff et al, 2016)
Forestry Waste															
19	Bambu	17	5,71	83,77	18,35	45,47	7,01	50,19	-	0,46	6,77	39,8	19,49	20,81	(Pattanayak et al., 2020; Rabemanolontsoa & Saka, 2013)
20	Kayu Beech	6	14,3	85,3	0,4	50,8	5,9	42,9	0,3	0,02	2,6	44,2	33,5	21,8	(Demirbaş, 2005; Zeng et al., 2015)
21	Pinus	3	15,5	78,9	2,5	49,5	6,43	42,99	0,07	0,06	5,1	46,9	20,3	27,3	(Backreedy et al., 2005; Sajdak et al., 2015; Taherzadeh et al., 1997)
22	Kayu Poplar	6,26	3,45	77,04	15,74	47,14	6,62	45,68	0,35	0,2	5,9	49	24	20	(Di Blasi et al., 2010; He et al., 2019)
23	Kayu Cemara	10,2	28,11	70,93	0,6	52,4	6,1	41,2	0,3		1,7	43	29,4	27,6	(Demirbaş, 2005; Dyjakon & Noszczyk, 2020)
24	Pohon Willow	2,8	18,9	72,6	5,7	52,3	6,4	41,1	0,2	–	9,7	41,7	16,7	29,3	(Black et al., 2013; Taherzadeh et al., 1997)
25	Rumput Liar	6,45	11,28	87,75	0,97	42,02	4,97	35,44	0,77	0,18	7	43	33	9	(Lynd et al., 1999; Ward et al., 2014 ; N, Abdoulmoumine et al 2020)
26	Semak Berduri	4,1	16,4	78,45	1,05	44,32	6,7	47,28	1,6	0,1	7,48	56,31	7,51	21,18	(Sahoo, Kumar, Kumar, et al., 2021)

No	Biomass Material	Proximate analysis (wt.%)				Ultimate analysis (wt.%)					Lignocellulosic composition (wt. %)				Pustaka
		Moisture	Fixed carbon	Volatiles	Ash	C	H	O	N	S	Extractives	Cellulose	Hemicelluloses	Lignin	
27	Bunga Tahi Ayam	3,6	14,84	79,18	2,38	48,87	5,87	44,82	0,74	0,11	7,03	48,64	11,16	14,3	(Sahoo, Kumar, Kumar, et al., 2021)
28	Pohon Babul	9,96	10,36	79	0,69	46,52	6,31	46,48	-	0,69	15,84	52,18	16,77	15,21	(Sahoo, Saini, Negi, Kumar, et al., 2021)
29	Pohon Kenaf	4,4	15,8	83,05	1,15	47,32	5,2	47,1	0,38	0,02	1,2	66,48	19,41	6,79	(Aatikah Meraj 2t al, 2024)
30	Pohon Belalang Hitam		18,26	80,94	0,8	50,73	5,71	41,93	0,57	0,01	7,5	41,46	31,16	19,73	(https://phyllis.nl/Biomass/View/1453 ; František Kačík et al., 2016)
	Hutan Tanaman Industri														
31	Akasia Mangium	6,94	17,32	81,6	1,08	49,97	5,85	43,8	0,33	0,02	1,86	48,16	35,79	21,06	(Duong et al., 2022 ; Mohd Hazim Mohamad Amin et all., 2017)
32	Kaliandra	10,04	16,38	72,7	0,88	48,78	4,65	45,03	0,52	0,03	16	40	16	25	(Hanafi Prida Putra et al., 2024 ; V,S, Yaliwal et al, 2014)
33	Gamal	13,47	17,24	66,71	2,58	47,27	4,15	43,92	1,57	0,1		46,34	12,35	29,12	(Hanafi Prida Putra et al., 2024 : Nur Fajriani Suaib et al., 2018)
34	Serbuk Kayu Industri	9,85	16,97	72,92	0,27	45,93	6,26	44,54	0,12	0,04	3,4	50,03	24,8	21,5	(Vuppaladadiyam, Memon, et al., 2019)
	Sampah Kota (MSW)														
35	Refused Derived Fuel (RDF) Sampah	6,4	8,82	75,58	9,2	49,75	9,04	10,77	28,55	1,89					P Dianda et al, 2018
36	Solid Recovered Fuel (SRF) Sampah	20,89	7,92	36,11	35,68	22,55	2,8	17,3	0	2,09					Fefria Tanbar et al, 2023
	Bioenergy Products														
37	Sabut Kelapa Terkelupas	12	17	68	3	38,4	4,46	26,8	0,63	0,05					Sinta Rismayani & Achmad Sjaifudin T, 2011 : Lab,Latvia
38	Pelet Sabut Kelapa	8,9	17	63,8	3,69	44,8	5,45	36,5	0,43	0,03					Sinta Rismayani & Achmad Sjaifudin T, 2011 : Lab,Latvia
39	Pelet Kayu Kelapa	5,7	22,8	77,2	0,6	46,7	5,71	38,4	0,7	0,03					Azrine Ajien et al, 2022 : Lab,Latvia
40	Pelet Kulit Sagoo	11,8	8,9	67,7	3,27	43,4	2,29	35,5	0,61	0,03					Benny Susanto et al, 20024 : Lab,Latvia
41	Kulit Sagoo Terkelupas	11,9	8,8	66	4,01	43,7	5,24	34,1	0,31	0,09					Benny Susanto et al, 20024 : Lab,Latvia
42	Pelet kayu berwarna putih (Wood Pellet)		17,06	82,64		50,66	6,33	44,23	0,08	0,01					https://phyllis.nl/Biomass/View/3072
43	Fluffy SRF Sampah	25,36	3,27	64,5	6,87	40,49	5,81	31,53	0,61	0					S.W. Park et all., 2016
44	Pelet SRF Sampah	7,5	15	65,7	11,8	43,75	6,65	36,35	1,35	0,1					Mochamad Soleh et al, 2024
45	Pelet Tandan Kosong kelapa sawit	5,47	10,03	69,55	14,95	42,91	5,27	47,55	0,45	0,1					(Wahyu Hidayat et al., 2016 : U, P, Onochie et al., 2017)
46	Tandan Buah Kosong kelapa sawit dibakar pada suhu 220°C				5,75	46,75	4,68	41,42	1,27	0,12					https://phyllis.nl/Biomass/View/2933
47	Tandan Buah Kosong kelapa sawit dibakar pada suhu 250°C				4,28	47,07	4,95	42,24	1,35	0,11					https://phyllis.nl/Biomass/View/2934
48	Tandan Buah Kosong kelapa sawit dibakar pada suhu 300°C				1,58	49,56	4,38	43,19	1,27	0,02					https://phyllis.nl/Biomass/View/2932

Lampiran 2. Data Nilai Kalori 48 tipe biomassa dan produk bioenergi dari berbagai sumber dan 1 batubara sebagai pembanding

No	Biomass Material	Proximate Analysis				Ultimate Analysis				Pustaka
		Fixed Carbon (wt.%)	Volatiles (wt.%)	Gross CV (MJ/kg)	Net CV (MJ/kg)	C (wt.%)	H (wt.%)	Gross CV (MJ/kg)	Net CV (MJ/kg)	
Agricultural Waste										
1	Tongkol Jagung	1,4	48,4	9,57	8,90	48,4	5,6	18,89	17,57	(Bhuiyan et al., 2018; Rabemanolontsoa & Saka, 2013)
2	Batang Jagung	5,4	45,02	9,94	9,24	45,02	3,99	16,57	15,41	(Qu et al., 2011; M, Yang et al., 2018)
3	Sekam Padi	20,61	34,94	11,85	11,02	34,94	5,46	14,81	13,77	(Qu et al., 2011)
4	Jerami Padi	17,19	35,21	11,04	10,27	35,21	4,79	14,34	13,33	https://phyllis.nl/Biomass/View/994 dan 2610
5	Kacang Tanah	3,5	48,21	10,07	9,36	48,21	5,29	18,58	17,28	https://phyllis.nl/Biomass/View/3942
6	Batang Sorgum	6,47	43,32	9,88	9,19	43,32	5,42	17,25	16,04	https://phyllis.nl/Biomass/View/2792 dan 2115
Plantation Waste										
7	Ampas Tebu	16,30	82,10	19,75	18,37	49,60	6,00	19,58	18,21	(Garcia-Pérez et al., 2002)
8	Daun-pucuk Tebu	9,97	51,86	12,39	11,53	26,63	3,69	10,90	10,13	(https://phyllis.nl/Biomass/View/2141 : IZDIHAR KHONSANI HANI, 2021)
9	Tandan Buah Kosong	6,58	34,29	8,19	7,62	24,89	3,90	10,56	9,82	https://phyllis.nl/Biomass/View/3922 : Agus S Ginting et al., 2015
10	Pelepah Sawit	15,20	14,43	6,58	6,12	44,51	4,53	16,86	15,68	(Muayyidul Haq et al, 2018 : Abdul Gafur 2017 : Sutini et al., 2019)
11	Cangkang Sawit	18,26	71,54	18,23	16,96	36,69	4,61	14,62	13,60	https://phyllis.nl/Biomass/View/2940 : Putri Agustina et al, 2023
12	Serat Sawit	21,26	72,13	19,10	17,76	48,32	6,56	19,66	18,29	(Shengqiang Chang et al., 2018 : Yan Kondo & Muhammad Arsyad, 2018)
13	Batang Kelapa Sawit	9,16	82,31	17,99	16,73	44,14	6,25	18,17	16,90	Rafidah Jalil et al., 2011 : Farhan M, Said et al,
14	Kulit Kakao	21,74	60,78	17,06	15,87	47,00	5,50	18,40	17,11	(https://phyllis.nl/Biomass/View/1767 ; Surono et al., 2020 : Sulistyaningtyas & Erin, 2021)
15	Batok Kelapa	25,24	67,40	19,20	17,86	47,43	5,19	18,27	16,99	https://phyllis.nl/Biomass/View/1919 dan 2555
16	Sabut Kelapa	26,80	70,30	20,15	18,74	47,17	6,54	19,31	17,95	(https://phyllis.nl/Biomass/View/1459 : Yan Kondo & Muhammad Arsyad, 2018 : Nanditho Azima Putra & Ananda Putra, 2023)
17	Kulit Kopi	27,73	57,24	17,89	16,64	37,30	4,08	14,37	13,36	(https://phyllis.nl/Biomass/View/1917 : Zulnazri et al., 2022)
18	Pohon Karet	12,75	80,36	18,52	17,23	44,24	7,52	19,25	17,90	(Singh et al., 2020 ; Adillah Shariff et al, 2016)
Forestry Waste										
20	Bambu	5,71	83,77	17,40	16,18	45,47	7,01	19,19	17,85	(Pattanayak et al., 2020; Rabemanolontsoa & Saka, 2013)
21	Kayu Beech	14,30	85,30	19,85	18,46	50,80	5,90	19,85	18,46	(Demirbaş, 2005; Zeng et al., 2015)
22	Pinus	15,50	78,90	18,94	17,61	49,50	6,43	19,90	18,51	(Backreedy et al., 2005; Sajdak et al., 2015; Taherzadeh et al., 1997)
23	Kayu Poplar	3,45	77,04	15,55	14,46	47,14	6,62	19,36	18,01	(Di Blasi et al., 2010; He et al., 2019)
24	Kayu Cemara	28,11	70,93	20,60	19,16	52,40	6,10	20,49	19,05	(Demirbaş, 2005; Dyjakon & Noszczyk, 2020)
25	Pohon Willow	18,90	72,60	18,59	17,29	52,30	6,40	20,70	19,25	(Black et al., 2013; Taherzadeh et al., 1997)
26	Rumput Liar	11,28	87,75	19,56	18,19	42,02	4,97	16,49	15,34	(Lynd et al., 1999; Ward et al., 2014 ; N, Abdoulmoumine et al 2020)
27	Semak Berduri	16,40	78,45	19,08	17,74	44,32	6,70	18,60	17,30	(Sahoo, Kumar, Kumar, et al., 2021)
28	Bunga Tahi Ayam	14,84	79,18	18,82	17,51	48,87	5,87	19,25	17,91	(Sahoo, Kumar, Kumar, et al., 2021)

No	Biomass Material	Proximate Analysis				Ultimate Analysis				Pustaka
		Fixed Carbon (wt.%)	Volatiles (wt.%)	Gross CV (MJ/kg)	Net CV (MJ/kg)	C (wt.%)	H (wt.%)	Gross CV (MJ/kg)	Net CV (MJ/kg)	
29	Pohon Babul	10,36	79,00	17,66	16,42	46,52	6,31	18,92	17,60	(Sahoo, Saini, Negi, Kumar, et al., 2021)
30	Kenaf	15,80	83,05	19,80	18,42	47,32	5,20	18,24	16,97	(Aatikah Meraj 2t al, 2024)
31	Pohon Belalang Hitam	18,26	80,94	20,02	18,62	50,73	5,71	19,67	18,29	(https://phyllis.nl/Biomass/View/1453 ; František Kačík et al., 2016)
Hutan Tanaman Industri										
32	Akasia Mangium	17,32	81,60	19,91	18,52	49,97	5,85	19,56	18,19	(Duong et al., 2022 ; Mohd Hazim Mohamad Amin et all., 2017)
33	Kaliandra	16,38	72,70	17,98	16,72	48,78	4,65	18,22	16,95	(Hanafi Prida Putra et al., 2024 : V,S, Yaliwal et al, 2014)
34	Gamal	17,24	66,71	17,05	15,86	47,27	4,15	17,36	16,15	(Hanafi Prida Putra et al., 2024 : Nur Fajriani Suaib et al., 2018)
35	Serbuk Kayu Industri	16,97	72,92	18,17	16,90	45,93	6,26	18,71	17,40	(Vuppaladadiyam, Memon, et al., 2019)
Sampah Kota (MSW)										
36	Refused Derived Fuel (RDF) Sampah	8,82	75,58	16,62	15,46	49,75	9,04	22,13	20,58	P Dianda et al, 2018
37	Solid Recovered Fuel (SRF) Sampah	7,92	36,11	8,88	8,25	22,55	2,80	8,96	8,33	Fefria Tanbar et al, 2023
Bioenergy Products										
38	Sabut Kelapa Terkelupas	17,00	68,00	17,24	16,03	38,40	4,46	15,00	13,95	Sinta Rismayani & Achmad Sjaifudin T, 2011 : Lab,Latvia
39	Pelet Sabut Kelapa	17,00	63,80	16,44	15,29	44,80	5,45	17,71	16,47	Sinta Rismayani & Achmad Sjaifudin T, 2011 : Lab,Latvia
40	Pelet Kayu Kelapa	22,80	77,20	20,45	19,02	46,70	5,71	18,48	17,19	Azrine Ajien et al, 2022 : Lab,Latvia
41	Pelet Kulit Sagoo	8,90	67,70	15,14	14,08	43,40	2,29	14,69	13,66	Benny Susanto et al, 20024 : Lab,Latvia
42	Kulit Sagoo Terkelupas	8,80	66,00	14,79	13,76	43,70	5,24	17,21	16,01	Benny Susanto et al, 20024 : Lab,Latvia
43	Pelet kayu berwarna putih (Wood Pellet)	17,06	82,64	20,04	18,64	50,66	6,33	20,16	18,75	https://phyllis.nl/Biomass/View/3072
44	Fluffy SRF Sampah	3,27	64,50	13,11	12,19	40,49	5,81	16,73	15,56	Mochamad Soleh et al, 2024
45	Pelet SRF Sampah	15,00	65,70	16,30	15,16	43,75	6,65	18,39	17,10	Mochamad Soleh et al, 2024
46	Pelet Tandan Kosong kelapa sawit	10,03	69,55	15,78	14,67	42,91	5,27	17,00	15,81	U, P, Onochie et al., 2017
47	Tandan Buah Kosong kelapa sawit dibakar pada suhu 220°C	-	-	-	-	46,75	4,68	17,65	16,41	https://phyllis.nl/Biomass/View/2933
48	Tandan Buah Kosong kelapa sawit dibakar pada suhu 250°C	-	-	-	-	47,07	4,95	17,96	16,71	https://phyllis.nl/Biomass/View/2934
49	Tandan Buah Kosong kelapa sawit dibakar pada suhu 300°C	-	-	-	-	49,56	4,38	18,23	16,95	https://phyllis.nl/Biomass/View/2932
50	Batubara	35,32	41,89	16,88	15,70	68,66	5,45	24,74	23,01	K. F. Balyani et al., 2023

Lampiran 3. Data hasil penskoran untuk jenis bahan bakar biomassa bahan baku *co-firing* PLTU

No.	Kriteria	Sub Kriteria	Bobot Skor	Skor Jenis Bahan Bakar Biomassa Yang Memerlukan Proses (Processed Biomass)								
				Bonggol Jagung (Chip)	Woodbase Kayu (Wood Chip)	Woodbase Kayu (Wood Sawdust)	Woodbase Kayu (Wood Pellet)	Cangkang Kelapa Sawit (UB)	Pellet Sekam Padi (PSP)	Pellet Tandan Kosong Sawit (PTKS)	Fluffy SRF Sampah (BBJP)	Pellet SRF Sampah (BBJP)
1	Harga CNF per kg (Bulk Price)	Harga sangat bagus	2	1	1	2	0	1	1	2	2	2
		Harga cukup bagus	1									
		Harga tidak bagus	0									
2	Kualitas Moisture Content	Standard fix	2	1	1	1	2	1	2	2	1	1
		Standard bervariasi	1									
		Tidak ada standard	0									
3	Kompetitor	Tidak Banyak	2	2	1	1	1	0	1	1	2	2
		Banyak Terbatas	1									
		Banyak dan Berkembang	0									
4	Ketersediaan	Banyak tidak terkendala rantai pasok	2	1	0	1	0	1	1	1	2	2
		Banyak terkendala rantai pasok	1									
		Terbatas terkendala rantai pasok	0									
5	Kelimpahan	Melimpah	2	1	0	0	0	1	1	1	2	2
		Banyak	1									
		Sedikit	0									
6	Substitusi Bahan Baku dari Sumber Sejenis	Ada Tidak Terbatas	2	2	1	1	1	0	2	2	2	2
		Ada Terbatas	1									
		Tidak ada	0									
7	Prakiraan Jarak Sumber Biomassa ke PLTU terdekat	Batas Radius dalam 60 Km	2	1	1	1	0	1	1	2	2	2
		Batas Radius antara 60 - 100 Km	1									
		Batas Radius di atas 100 Km	0									
8	Nilai Kalori	Tinggi (> 4000 kkal/Kg)	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2
		Sedang (3000 - 4000 kkal/Kg)	1									
		Rendah (< 3000 kkal/Kg)	0									
9	Perlakuan Pre Treatment	Perlakuan tidak memerlukan energi	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2
		Perlakuan memerlukan energi murah	1									
		Perlakuan memerlukan energi mahal	0									
10	Potensi Circular Bioeconomy	Sangat berpotensi	2	2	1	1	1	1	1	2	1	2
		Sedikit berpotensi	1									
		Tidak berpotensi	0									

No.	Kriteria	Sub Kriteria	Bobot Skor	Skor Jenis Bahan Bakar Biomassa Yang Memerlukan Proses (Processed Biomass)								
				Bonggol Jagung (Chip)	Woodbase Kayu (Wood Chip)	Woodbase Kayu (Wood Sawdust)	Woodbase Kayu (Wood Pellet)	Cangkang Kelapa Sawit (UB)	Pellet Sekam Padi (PSP)	Pellet Tandan Kosong Sawit (PTKS)	Fluffy SRF Sampah (BBJP)	Pellet SRF Sampah (BBJP)
11	Biaya Investasi	Murah	2	2	1	2	0	2	2	2	1	1
		Moderat	1									
		Mahal	0									
Total Skor				15	10	13	8	12	15	18	17	20
Total Skor Maksimum			22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Persentase Skor				68%	45%	59%	36%	55%	68%	82%	77%	91%

