

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Klasifikasi Batubara

Secara umum, batubara biasanya terbagi menjadi 4 kategori, yaitu antrasit (*antrachite*), bituminus (*bituminous*), sub-bituminus (*sub-bituminous*), dan lignit (*lignite*) (AEER, 2021).

1. Antrasit (*Anthrachite*)

Antrasit, berwarna hitam mengilap, mengandung karbon sebanyak 90-97 persen. Antrasit merupakan batubara dengan kandungan nilai panas tertinggi dan kandungan total air terendah dari semua jenis batubara. Antrasit banyak digunakan sebagai bahan untuk kegiatan industri baja dan keperluan bahan bakar rumah tangga. Negara yang memiliki cadangan antrasit terbesar adalah Tiongkok, Rusia, dan Ukraina.

2. Bituminus (*Bituminous*)

Bituminus biasanya berwarna hitam pudar dengan kandungan karbon sebanyak 45-90 persen, lebih rendah dibandingkan antrasit. Bituminus biasanya digunakan sebagai bahan baku pembuatan *cooking coal* serta digunakan pada industri besi dan baja. Ketika digunakan untuk kegiatan industri, kandungan *volatile matter* dari bituminus harus dihilangkan terlebih dahulu.

3. Sub-bituminus (*Sub-bituminous*)

Batubara jenis sub-bituminus, berwarna coklat maupun hitam pudar, didefinisikan sebagai batubara jenis *non-agglomerating* dengan nilai kalori yang berada diantara 4.165 kkal/kg dan 5700 kkal/kg dengan kadar air 10 hingga 35 persen. Ciri-ciri batubara ini berada diantara batubara jenis bituminus dan lignit.

Batubara jenis sub-bituminus banyak digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik. Padahal, kandungan energi yang rendah dan air yang tinggi menjadikan batubara jenis ini sulit untuk menghasilkan energi yang efisien.

4. Lignit (*Lignite*)

Lignit merupakan batubara peringkat rendah dimana kedudukan lignit dalam tingkat klasifikasi batubara berada pada daerah transisi dari jenis gambut ke batubara. Lignit adalah batubara yang berwarna hitam dan memiliki tekstur seperti kayu. Lignit, berwarna coklat, masuk dalam kategori batubara kualitas rendah karena memiliki kadar air atau *moisture content* yang tinggi dengan nilai panas rendah atau kalori yang rendah. Lignit merupakan batubara *non-agglomerating* dengan nilai kalori kurang dari 4165 kkal/kg dengan kadar air di antara 30 hingga 60 persen.

Nilai panas yang rendah menyebabkan pembakaran batu bara jenis lignit menjadi yang paling tidak efisien jika dibandingkan dengan jenis batubara lain. Terlebih lagi, kadar air yang tinggi juga menyebabkan pembakaran yang dilakukan untuk menghasilkan energi semakin tidak efisien. Dengan kandungan karbon yang rendah dan kadar air yang tinggi, lignit dan subbituminus termasuk dalam batu bara kategori kualitas rendah. Batubara kualitas rendah ini memiliki kandungan energi yang rendah dan kandungan air yang tinggi, yakni lebih dari 20 persen sehingga lebih sulit dibakar dibandingkan batu bara dengan kualitas yang lebih tinggi. Pemanfaatan Batubara lignit ialah di gasifikasi menjadi gas alam sintetis dan digunakan untuk memproduksi pupuk berbasis amonia. Dan sebagian besar digunakan untuk menghasilkan listrik. Karena tingginya relativitas berat terhadap jumlah panas, lignit biasanya digunakan dalam bentuk bubuk batubara untuk pembangkit listrik berbahan bakar batubara di dekat tambang. Melalui proses yang disebut gasifikasi batubara, lignit dapat dipecah secara kimia untuk membuat gas alam sintetis yang menghasilkan tenaga lebih besar dan lebih mudah untuk beroperasi di pembangkit listrik skala komersial.

Setiap jenis batubara memiliki Karakteristik dan komposisi yang berbeda beda. Masing-masing klasifikasi ini memiliki karakteristik yang berbeda seperti nilai kalori, zat terbang (volatile matter), karbon tetap (fixed carbon), dan kadar air total (total moisture) di masing-masing wilayah berdasarkan data International Energy Agency (IEA) atau Badan Energi Internasional. Pada Tabel 2.1 ditampilkan Karakteristik dan Kegunaan pada Jenis Batubara

Tabel 2.1 Karakteristik dan Kegunaan pada Jenis Batubara

Jenis Batubara	Karakteristik				Kegunaan
	Kalori (kkal/kg)	Volatile Matter	Fixed Carbon	Total Moisture	
Antrasit	> 5,703	< 10%	90	< 15%	Industri
Bituminus	> 5,703	10-36%	45-90%	2-15%	Industri Metalurgi
Sub-Bituminus	4,165-5,703	> 36%	35-45%	10-45%	Listrik
Lignit	< 4,165	> 36%	25-35%	30-60%	Listrik

(Sumber : AEER, 2021)

2.2 Biomassa Ampas Tebu

Ampas tebu merupakan hasil proses sampingan berupa bahan sisa berserat dari batang tebu yang telah mengalami ekstraksi nira, dan banyak mengandung parenkim serta tidak tahan disimpan karena mudah terserang jamur. Serat sisa dan ampas tebu kebanyakan digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan energi dalam proses pembuatan gula. Selain dimanfaatkan sebagai bahan bakar pabrik, ampas tebu dibuat sebagai bahan baku untuk serat dan partikel papan, plastik dan industry kertas, serta media budidaya jamur atau dikomposisikan sebagai pupuk (A. H. Iswanto, 2009). Secara fisik Ampas tebu tersusun atas 55-60% serat, 30-35% pith dan 10-15% tanah dan bahan terlarut. Secara kimia, ampas tebu terdiri atas 46-47 % selulosa, 24-26% pentose, 20-21% lignin, dan 10-15% unsur lainnya. Pada kadar air 50%, ampas tebu memiliki nilai kalori sekitar 7.600 kJ/kg (Prihandana, 2008 dalam Purwantana et al., 2011). Berikut adalah tabel analisis proximate dan ultimate dari limbah ampas tebu:

Tabel 2.2 Analisis *Ultimate* dan *Proximate* Biomassa Ampas Tebu

Komponen	Total	Metode Standar
A.Nilai Kalor	1830 kkal/kg	ASTM D 5865-2013
B. Analisa Proximate		
Total Moisture	15,32	ASTM D 3302M-17
Kadar Abu	4,19	ASTM D 3173-12
Kadar Zat Terbang	43,68	ASTM D 3175-17
Fixed Carbon	36,81	ASTM D 3172-13
Total Sulfur	0,04	ASTM D 4239-2016
C. Analisa Ultimate		
Karbon	24,12	ASTM D 5373
Hidrogen	3,12	ASTM D 5373
Nitrogen	0,12	ASTM D 5374
Oksigen	53,09	ASTM D 5375

(Sumber : Rizal et al., 2020)

2.3 Gasifikasi

Gasifikasi adalah proses mengubah biomassa padat menjadi gas yang mudah terbakar. Gas tersebut umumnya mengandung senyawa karbon, hidrogen, dan oksigen dengan kelembaban tertentu. Dalam kondisi dapat dikontrol, proses ini ditandai dengan suplai oksigen yang rendah dan suhu tinggi, sebagian besar bahan biomassa dapat dikonversi menjadi bahan bakar gas yang dikenal sebagai *producer gas*, yang terdiri dari CO, H₂, CO₂, dan CH₄. Konversi biomassa padat menjadi bahan bakar gas secara termokimia ini disebut dengan gasifikasi (Studi and Teknik 2017)

Gasifikasi merupakan proses konversi bahan bakar dalam ruang tertutup (reaktor) untuk diubah ke fase lain. Proses gasifikasi dilakukan dalam suatu reaktor yang dikenal dengan gasifier. Jenis gasifier yang ada saat ini dapat dikelompokkan berdasarkan mode fluidisasi, arah aliran dan jenis gas yang diperlukan untuk proses gasifikasi. Reaktor berfungsi sebagai tungku tempat berlangsungnya proses gasifikasi. Ketika gasifikasi dilangsungkan, terjadi kontak antara bahan bakar dengan medium penggasifikasi di dalam *Gasifier*. Kontak antara bahan bakar dengan medium tersebut menentukan jenis gasifier yang digunakan. Apabila dibedakan berdasarkan arah aliran fluidanya, reaktor *Gasifier* dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu, gasifikasi aliran searah (*Downdraft Gasifier*) dan gasifikasi aliran berlawanan

(*Updraft Gasifier*). Pada *Downdraft Gasifier*, arah aliran udara dan bahan baku menuju ke bawah. Sedangkan pada *Updraft Gasifier*, arah aliran bahan baku ke bawah dan aliran udara justru berlawanan yaitu ke atas. Pada umumnya gasifikasi adalah proses pengubahan materi yang mengandung karbon misalnya batubara, minyak bumi, maupun biomassa ke dalam bentuk karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H₂) dengan mereaksikan bahan baku yang digunakan pada temperatur tinggi dengan jumlah oksigen yang diatur (Sun, 2014).

Penelitian menggunakan gasifier downdraft, dengan gasifying agent oksigen, karena kemampuan dan kelebihanannya meskipun memiliki beberapa kekurangan. Berikut ini adalah karakteristik dari gasifier tipe downdraft .

2.3.1 Downdraft gasifier (Gasifier tipe Downdraft)

Downdraft Gasifier merupakan reaktor gasifikasi yang mana bahan bakar dalam reaktor gasifikasi downdraft dimasukkan dari atas reaktor dan udara dari blower dihembuskan dari samping menuju ke zona oksidasi sedangkan *Syngas* hasil pembakaran keluar melalui burner yang terletak di bawah ruangan bahan bakar sehingga saat awal gas akan mengalir ke atas dan saat volume gas makin meningkat maka *Syngas* mencari jalan keluar melalui daerah dengan tekanan yang lebih rendah (Hidayat, Fajriani, and L 2017).

Terdapat beberapa kelebihan yang dimiliki sistem oleh gasifikasi dengan metode arah aliran downdraft, yakni sebagai berikut (Ardiansyah 2017)

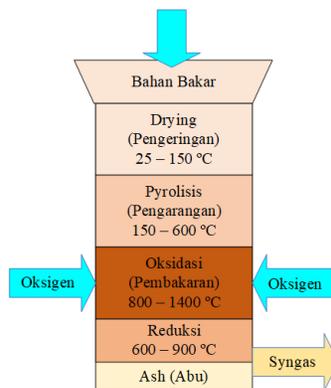
Kelebihan :

1. Umumnya spesifik untuk kualitas bahan bakar biomassa tertentu, memerlukan kadar air yang rendah, dan kadar abu yang rendah pula. Gas yang dihasilkan lebih panas dibandingkan pada sistem updraft dan hanya membutuhkan teknik pembersihan gas yang lebih sederhana.
2. Sangat cocok untuk diaplikasikan pada engine karena gas yang dihasilkan rendah tar.
3. Proses sederhana dan lebih murah.

4. Kandungan tar yang dihasilkan cukup rendah karena hingga 99,9% dari tar yang terbentuk dikonsumsi, hanya membutuhkan pembersihan tar yang minimum.

Sedangkan kekurangan dari gasifikasi downdraft adalah:

1. Membutuhkan masukan bahan baku dengan kandungan moisture yang sangat rendah.
2. *Syngas* hasil gasifikasi keluar reaktor pada temperatur yang sangat tinggi, sehingga membutuhkan sistem secondary heat recovery (pendinginan lanjutan)
3. 4-7% karbon yang tersisa tidak bisa diproses atau diubah ke bentuk lain.



Gambar 2.1 Skema Downdraft Gasifier

2.3.2 Tahapan Gasifikasi

Pada Proses Gasifikasi ada beberapa tahapan yang dilalui oleh bahan baku gasifikasi hingga akhirnya menjadi flammable gas. Berdasarkan jurnal tahapan-tahapan tersebut meliputi :

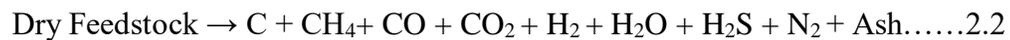
1. Zona Pengerinan (Drying)

Zona Pengerinan ini terletak pada bagian atas reaktor dan merupakan zona dengan temperatur paling rendah di dalam reaktor yaitu berkisar antara 100°C-150°C. Proses pengeringan ini sangat penting dilakukan agar pengapian pada burner dapat terjadi lebih cepat dan lebih stabil.



2. Zona Pirolisis

Pada zona pirolisis, pemisahan volatile matters (uap air, cairan organik, dan gas yang tidak terkondensasi) dari padatan karbon bahan bakar menggunakan panas yang diserap dari proses oksidasi sehingga pirolisis (devolatilisasi) disebut juga gasifikasi parsial. Proses pirolisis pada bahan bakar terbentuk pada temperatur antara 150°C sampai 700°C di dalam reaktor.



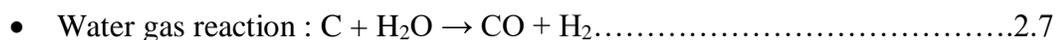
3. Zona Oksidasi

Pada zona oksidasi, Arang dan gas hasil dari pirolisis bereaksi dengan suplai udara sehingga menghasilkan produk berupa CO₂ dan H₂O serta energi panas. Energi panas dari oksidasi digunakan untuk energi pengeringan dan pirolisis. Temperatur dari oksidasi ini sangat tinggi yakni 800-1400 °C



4. Proses Reduksi

Reduksi melibatkan suatu rangkaian reaksi endotermik yang disokong oleh panas yang diproduksi dari reaksi pembakaran. Reaksi reduksi terjadi antara temperatur 500°C sampai 1000°C. Pada reaksi ini, arang yang dihasilkan melalui reaksi pirolisis tidak sepenuhnya karbon tetapi juga mengandung hidrokarbon yang terdiri dari hidrogen dan oksigen. Proses reaksi tersebut adalah sebagai berikut :



2.4 Gasyfaying agent (Media gasifikasi)

Gasyfaying agent utama yang sering digunakan dalam proses gasifikasi adalah oksigen (O_2), uap air (H_2O), dan udara. Jika *gasyfaying agent* yang digunakan adalah oksigen O_2 dan ketika oksigen yang disuplai kurang, maka produk yang dihasilkan adalah CO dan ketika oksigen yang diberikan berlebih akan ketika menghasilkan CO_2 . Jika jumlah oksigen O_2 yang diberikan melebihi keadaan stoikiometri maka proses gasifikasi akan bergeser menjadi pembakaran biasa dan produk yang dihasilkan adalah gas sisa (*flue gas*). Tidak satupun *flue gas* dapat dibakar kembali meskipun dilakukan perlakuan seperti seperti perlakuan panas.

Jika yang digunakan untuk *gasyfaying agent* adalah uap air H_2O maka produk gas akan berisi lebih banyak hidrogen per unit karbon. Jika udara yang digunakan untuk *gasyfaying agent* maka nitrogen akan sangat melemahkan produk gas karena udara mengandung kurang lebih 79 % nitrogen dan oksigen O_2 21 % (fraksi mol atau volume). Pilihan dari *gasyfaying agent* akan memberikan pengaruh pada nilai kalor pembakaran (*heating value*) dari gas (Basu 2013).

Tabel 2.3 Perbandingan Komposisi *Syngas* dengan Gasifying Agent udara dan oksigen dengan bahan baku gasifikasi yang berbeda

Feedstock	Gasifying Agent	<i>Syngas</i> Composition (% mole)						CV (MJ/kg)
		H_2	CO	CO_2	H_2O	CH_4	N_2	
Indian Coal	Air	8,8	41,8	0,623	0,018	17,3	32	12,59
	Oxygen	15,3	60,1	0,0003	0,492	0,23	0,8	19,55
Rice Husk	Air	22,9	18,4	13,0	8,3	0,8	36,6	5,49
	Oxygen	36,5	21,8	20,2	19,9	0,6	0,4	9,14
Wood pellets	Air	32,1	29,8	7,9	5,7	0,9	23,6	9,22
	Oxygen	4,07	37,8	11,3	8,1	1,7	0,9	13,19

(Sumber: Raibhole & Sapali, 2012)

2.5 Co-gasifikasi

Co-gasification adalah suatu proses konversi bahan bakar padat menjadi gas dari campuran antara bahan baku yang mengandung unsur carbon dengan bahan bakar padat konvensional agar emisi dari pembakaran suatu bahan bakar padat

konvensional tersebut dapat dikurangi. Gasifikasi secara nyata mempunyai tingkat emisi udara, kotoran padat dan limbah terendah serta menghasilkan produk gas (*Syngas*) yang lebih baik (Angga, Primantara, and Winaya 2014). *Co-gasification* atau pencampuran bahan bakar atau lebih menggunakan biomassa dengan bahan bakar padat konvensional dapat meningkatkan nilai kalor selama proses konversi energi juga dapat mengendalikan kandungan VM yang tinggi dari biomassa dan limbah. *Co-gasification* biomassa dengan batubara diharapkan dapat menurunkan emisi CO₂ dan jumlah polutan NO_x dan SO_x dari bahan bakar fosil (Nyoman et al. 2010).

2.6 Syntetic Gas (*Syngas*)

Syngas merupakan gas campuran yang komponen utamanya adalah gas karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H₂) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar dan juga dapat digunakan sebagai bahan baku dalam proses pembuatan zat kimia baru seperti metana, amonia, dan urea. Gas producer hasil gasifikasi merupakan gas yang masih memiliki senyawa pengotor berupa karbondioksida (CO₂) dan hidrogen sulfida (H₂S) yang merupakan gas tak mampu bakar dan dapat mengurangi nilai kalor dari gas tersebut. Komponen pengotor ini dapat dikurangi sehingga didapatkan *Syngas* yang lebih bersih dan meningkatkan kandungan flammable *Syngas* (Effendi and Siregar 2021).

2.7 Filter

Menurut Muarif dkk (2015) Filter merupakan bahan berpori yang memungkinkan gas untuk menembus namun mencegah berlalunya partikel. Menurut Nugroho (2019) Filtrasi adalah suatu operasi atau proses dimana campuran heterogen antara fluida dan partikel-partikel padatan dipisahkan oleh media filter atau septum yang meloloskan fluida tetapi menahan partikel padatan (*cake*). Filter atau cleanup gasifier merupakan media yang disusun guna mendapatkan *Syngas* yang aman, bersih dari zat pengotor (*Impurity*).

Suatu medium filter (Media penyaring) pada setiap filter harus memenuhi syarat-syarat, yaitu sebagai berikut:

1. Media penyaring harus dapat menahan partikel yang akan disaring, dan menghasilkan filtrat yang cukup jernih.
2. Tidak mudah tersumbat pada saat proses filtrasi
3. Media penyaring harus tahan secara kimia dan kuat secara fisik dalam kondisi proses.
4. Media filter tidak terlalu mahal dan mudah diperoleh

2.8 Serutan Kayu jati (Tatal)

Jati (*Tectona grandis*) adalah sejenis pohon penghasil kayu bermutu tinggi. Pohon besar, berbatang lurus, dapat tumbuh mencapai tinggi 30-40 m. Berdaun besar, yang luruh di musim kemarau. Jati dikenal dunia dengan nama teak (bahasa Inggris). Nama ini berasal dari kata thekku dalam bahasa Malayalam, bahasa di negara bagian Kerala di India selatan. Nama ilmiah jati adalah *Tectona grandis* L.f. Jati dapat tumbuh di daerah dengan curah hujan 1 500 – 2 000 mm/tahun dan suhu 27 – 36 °C baik di dataran rendah maupun dataran tinggi. Tempat yang paling baik untuk pertumbuhan jati adalah tanah dengan pH 4.5 – 7 dan tidak dibanjiri dengan air. Jati memiliki daun berbentuk elips yang lebar dan dapat mencapai 30 – 60 cm saat dewasa. Beberapa komponen terdapat dalam kayu jati antara lain: selulosa 40,26-43,12%, hemiselulosa 27,07-31,97 %, dan lignin 24,74 -28,07% (Sp, Suroso). Berat memiliki rata-rata 0,67 (0,62 – 0,75) sedangkan modulus elastisitas pada kondisi kering berkisar ± 12523 MPa.

Menurut Rianto et al., (2019) dari sortimen olahan balok dan papan sebanyak 30 m² menghasilkan limbah sebanyak 46,73 % /m³ dengan rata-rata jenis limbah sabetan sebanyak 7,47% /m³, serbuk 6,80% /m³ dan tatal (serutan kayu) 32,47% /m³ dan proses pengolahan lanjutan dari limbah masih belum terlihat dimana semua limbah hanya dibakar begitu saja. Limbah serutan kayu (tatal kayu /shaving) adalah limbah yang dihasilkan dari proses penghalusan permukaan kayu gergajian, Serutan Kayu terbentuk dari zat – zat organik seperti selulosa, hemiselulosa, lignin, pentosan, silika dan lain – lain. Sedangkan unsur pembentuknya sebagian besar

terdiri dari Karbon (C), Hydrogen (H), Nitrogen (N), Oksigen (O₂), abu serta unsur - unsur lainnya (Billah, 2009).

2.9 Filter Serutan Kayu

Filter dapat mempengaruhi kualitas *Syngas* yang dihasilkan. *Syngas* yang dihasilkan cenderung kotor karena komposisi bahan baku serta proses penggasifikasi itu sendiri. Bahan bakar yang dihasilkan pada proses gasifikasi yaitu *Syngas* yang masih mengandung pengotor sehingga diperlukan adanya pembersihan gas dari pengotor dan pencemar lainnya untuk meningkatkan kualitas *Syngas* (Senthil Kumar et al. 2010). Filter kering berbasis biomassa menjadi pilihan yang ekonomis dan ramah lingkungan, filter ini biasanya menggunakan tongkol jagung, serutan kayu, sabut kelapa kering, arang dan serbuk gergaji. Serutan Kayu terbentuk dari zat – zat organik seperti sellulosa, hemisellulosa, lignin, pentosan, silika dan lain – lain. Dengan adanya limbah Serutan kayu yang kondisinya melimpah dan bentuknya berupa lembaran, kering dan berserat sehingga menyerupai filter yang berpori membuat Serutan kayu dapat dimanfaatkan sebagai filter dan menjadi salah satu alat pembersih gas hasil gasifikasi sebagai metode pemurnian gas yang murah. Pada penelitian ini penggunaan media filter serutan kayu juga mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Allesina G et al (2014) yang menggunakan serbuk kayu (Woodchips) sebagai media pembersih gas hasil gasifikasi dan penelitian-penelitian terdahulu yang menggunakan limbah biomassa sebagai filter gas hasil gasifikasi seperti jerami dan sekam padi.

2.10 Adsorpsi

Adsorpsi adalah fenomena fisik yang terjadi saat molekul-molekul gas atau cair dikontakkan dengan suatu permukaan padatan dan sebagian dari molekul-molekul tadi mengembun pada permukaan padatan tersebut. Adsorpsi merupakan proses dimana molekul fluida mengalami kontak dan melekat pada permukaan suatu material padat). Peristiwa adsorpsi dapat terjadi pada adsorben yang pada umumnya beberapa zat padat. Adsorpsi oleh zat padat dibedakan menjadi dua, yaitu adsorpsi

fisis (*fisisorpsi*) dan adsorpsi khemis (*chemisorpsi*). Adsorpsi fisis merupakan adsorpsi yang terjadi karena adanya gaya Van Der Waals, yaitu gaya tarik menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Pada adsorpsi fisik, adsorbat tidak terikat kuat pada permukaan adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari satu bagian permukaan ke bagian permukaan lainnya, dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat yang satu dapat digantikan oleh adsorbat lainnya (multilayer). Adsorpsi khemis merupakan adsorpsi yang terjadi karena terbentuknya ikatan kovalen dan ion antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben, ikatan yang terbentuk merupakan ikatan yang kuat sehingga lapisan yang terbentuk adalah lapisan monolayer. Padatan berpori (*pores*) yang menghisap (*adsorp*) dan melepaskan (*desorp*) suatu fluida disebut adsorben. Molekul fluida yang dihisap tetapi tidak terakumulasi atau melekat ke permukaan adsorben disebut *adsorptive*, sedangkan yang terakumulasi disebut *adsorbat*. (Taufan, 2008).

2.11 Perhitungan penelitian

Dalam proses penelitian perlu dilakukan perhitungan terlebih dahulu untuk meninjau *Syngas* yang dihasilkan dari proses co-gasifikasi difilter menggunakan media filter serutan kayu. Terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan yakni

Volume Tangki filter

Langkah yang dilakukan untuk mengukur massa pengisi filter yakni dengan menghitung volume tangki terlebih dahulu berdasarkan bentuk tangki itu sendiri, maka digunakan persamaan sebagai berikut :

$$V_{\text{tangki}} = \frac{1}{3} \times \pi t (R^2 \times R^2 r^2 \times r^2) \quad (\text{Jeklin 2016})$$

Massa Bahan baku media filter

Mengalikan densitas bahan baku yang akan dipakai dengan volume tangki hasil perhitungan

$$\text{Massa}_{\text{bahan baku}} = V_{\text{tangki}} \times \rho_{\text{bahan baku}} \quad (\text{Siregar 2020})$$

Laju Alir Syngas

$$\text{Laju alir Syngas} = \text{A pipa output} \times V_{\text{syngas}} \quad (\text{Syarif et al. 2020})$$

Efektifitas penurunan

$$\text{Efektifitas penurunan} = \frac{C_o - C_i}{C_o} \times 100\% \quad (\text{Universitas Airlangga, 2016})$$

C_o : Konsentrasi parameter awal, C_i : Konsentrasi parameter akhir