

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Material Bed

Material bed memiliki karakteristik yang berbeda dalam ruang fluidisasi, karena itu perlu untuk memahami sifat dari material bed. Pada proses fluidisasi CFB boiler banyak menggunakan pasir silika dan batubara, kedua material padat memiliki fungsi yang berbeda dalam CFB boiler.

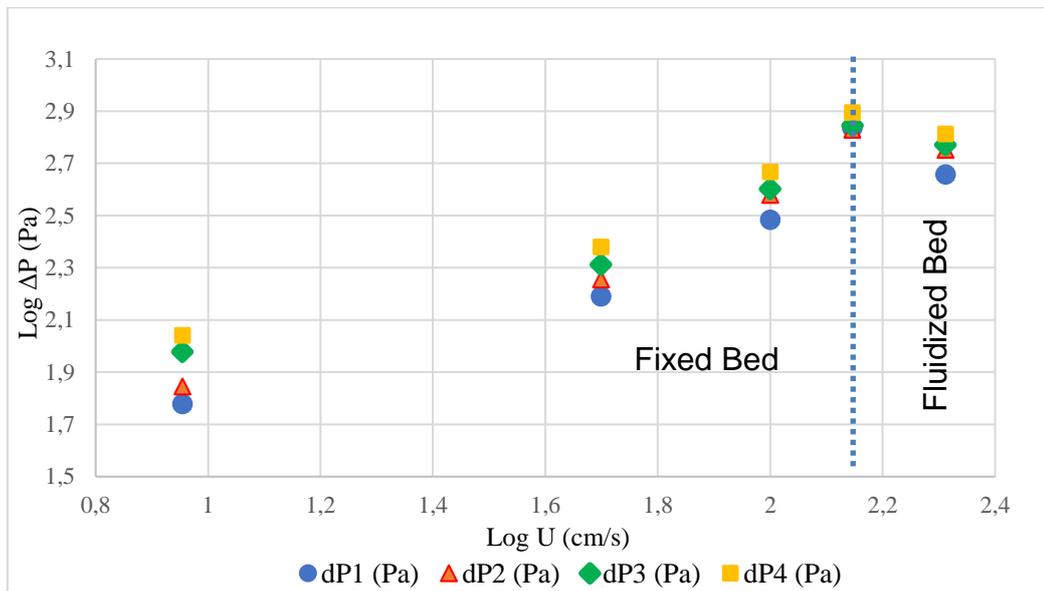
Pasir silika merupakan bahan material bed yang sering digunakan dalam proses fluidisasi di berbagai industri. Berdasarkan klasifikasi kurva geldart pasir silika berada pada group B. Material bed yang berada pada group B cenderung lebih mudah untuk terfluidisasikan. Ukuran d_{50} pada material pasir pada percobaan ini adalah 0,583 mm. Pada CFB boiler batubara digunakan sebagai sumber bahan bakar. Batubara sendiri mempunyai sifat basah dan berair dan menimbulkan kondisi pada batu bara menjadi lengket. Parting adalah material sedimen berupa carbonaceous mudstone yang tersisip antar lapisan batu bara. Parting sendiri mempunyai sifat hydrophilic yaitu kondisi dimana suatu batuan mudah berikatan dengan air. Ukuran d_{50} pada material batubara pada percobaan ini adalah 1,169 mm dan masuk kedalam grup D pada kurva geldarts. Batubara sulit terfluidisasi karena membutuhkan kecepatan yang jauh lebih tinggi untuk membuat terfluidisasi partikel ini (Basu, 2015).

Tabel 4.1 Karakteristik material bed

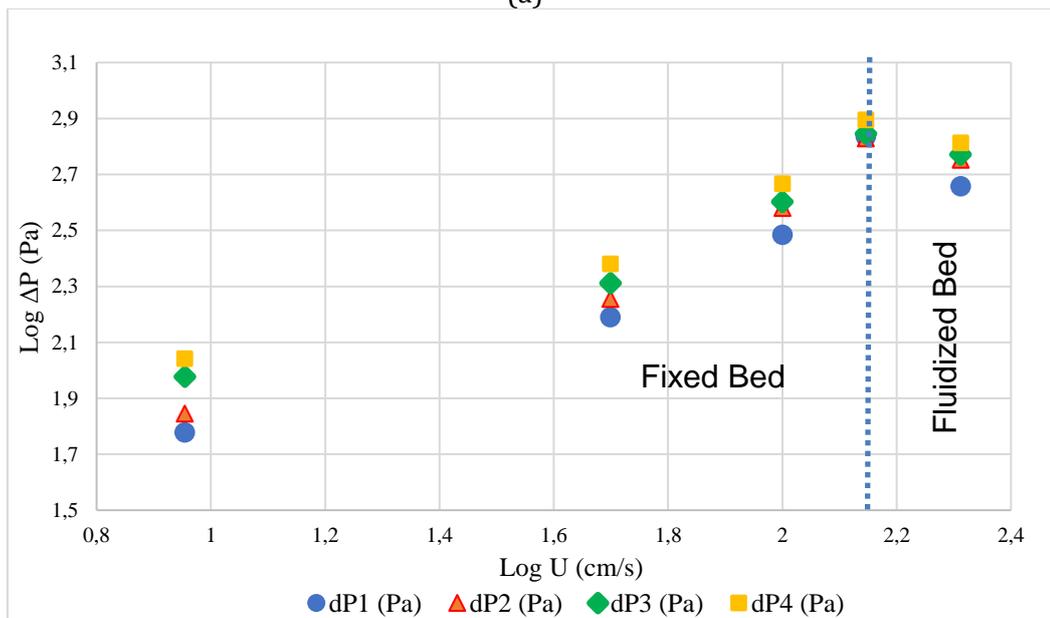
Material bed	Densitas	Ukuran (mesh)	% berat
Pasir Silika	1420 g/cm ³	20	8,62%
		-20 + 35	29,06%
		-35 +30	10,94%
		-30	51,38%
Total		100 %	
Batubara	600 g/cm ³	< 4	0,06%
		-4, 1-5	0,10%
		5, 1-7	0,50%
		7, 1-10	14,01%
		10, 1-20	81,57 %
		>20	3,75%
Total		100 %	

4.2 Kurva Karakteristik Fluidisasi Pasir Silika

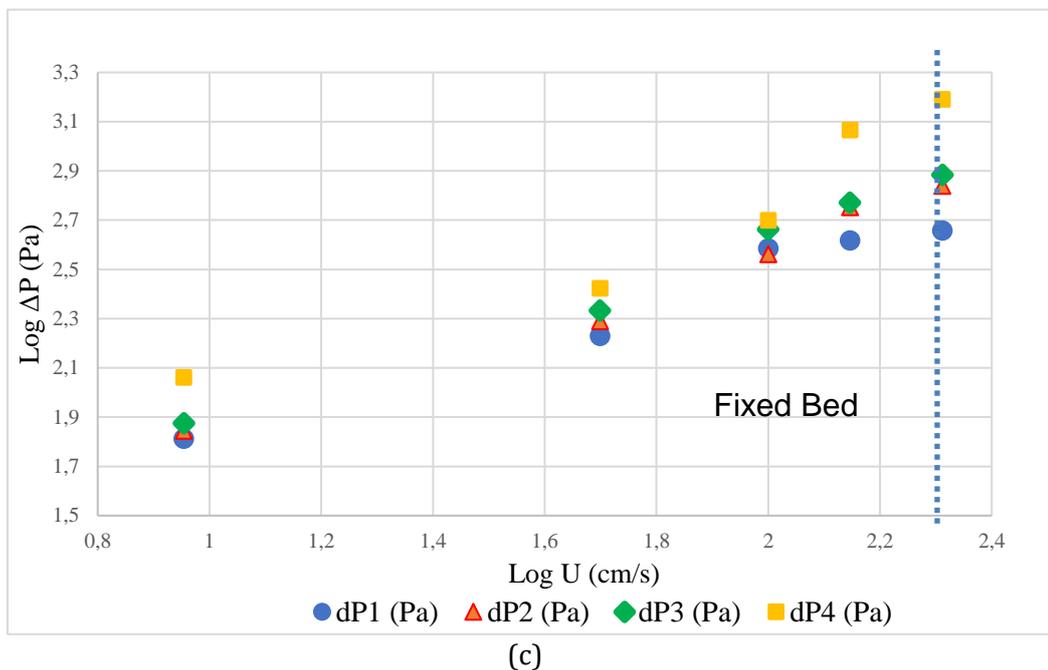
Karakteristik unggun yang di fluidakan dapat digambarkan dengan kurva karakteristik fluidisasi, hal ini dapat mempermudah untuk memahami bagaimana material berperilaku di ruang fluidisasi, dengan mengevaluasi kurva karakteristik pada pada tiap variasi. Kurva karakteristik fluidisasi di dapatkan dari kurva pressure drop sebagai sumbu X dan kecepatan udara dalam bentuk logaritma pada sumbu Y, kurva karakteristik fluidisasi dapat dilihat pada gambar 4.1 di bawah ini.



(a)



(b)



(c)
Gambar 4.1 Kurva karakteristik fluidisasi pasir silika pada ketinggian (a) 30 cm
 (b) 40 cm (c) 50 cm

Pada kurva karakteristik fluidisasi material bed pasir silika digunakan 4 titik pengukuran ΔP untuk mengevaluasi kondisi fluidisasi pada tiap ketinggian bed yaitu ΔP_1 , ΔP_2 , ΔP_3 , dan ΔP_4 ke-4 titik tersebut dibedakan pengambilan datanya berdasarkan letak ketinggiannya seperti pada gambar 3.4.

Kurva karakteristik fluidisasi sendiri didapatkan dari plot pressure drop dengan kecepatan fluida superficial dalam koordinat logaritmik. Adapun berikut merupakan kecepatan fluida yang didapatkan melalui kalibrasi blower secara berturut-turut 9 cm/s; 50 cm/s; 100 cm/s; 140 cm/s; 205 cm/s.

Pada gambar 4.1 ketinggian 30 cm, grafik mengalami kenaikan secara linear sampai kecepatan fluida mencapai 140 cm/s dan setelah itu pressure drop turun kembali pada kecepatan fluida 205 cm/s, hal ini menunjukkan bahwa material bed sudah terfluidisasi pada kecepatan fluida 205 cm/s, Karena disaat terjadinya fluidisasi pressure drop akan mencapai nilai ΔP maksimum sesaat lalu turun kembali (Astuti, 2015), pada percobaan ini pressure drop maksimum terdapat pada kecepatan fluida 140 cm/s dan sebesar 610 Pa; 720 Pa; 800 Pa; dan 815 Pa.

Kenaikan ΔP sesaat sebelum terjadi fluidisasi dikarenakan interlock antar partikel, atau kecenderungan partikel untuk saling mengunci satu dengan lainnya (Syahrul et al., 2016; Winaya, 2016), adanya fenomena interlock ini dapat terjadi oleh beberapa faktor seperti bentuk partikel. Bentuk partikel yang tidak beraturan atau bersudut cenderung akan saling mengait satu sama lain, selain itu terdapat faktor ukuran partikel dan kecepatan fluida yang dapat menyebabkan interlock antar partikel (Syahrul et al., 2016). Setelah itu pressure drop turun kembali dan tidak akan lagi di pengaruhi kecepatan fluida karena akan konstan terhadap laju alir fluida superficial. Pada sekitar titik ke-4 kecepatan fluida sudah melewati nilai kecepatan minimum fluidisasi (U_{mf}) yang berkisar pada kecepatan fluida 140 cm/s, sedangkan pada saat kecepatan fluida mencapai 205 cm/s material bed sudah terfluidisasikan hampir seluruhnya atau pada kondisi *fluidized bed*.

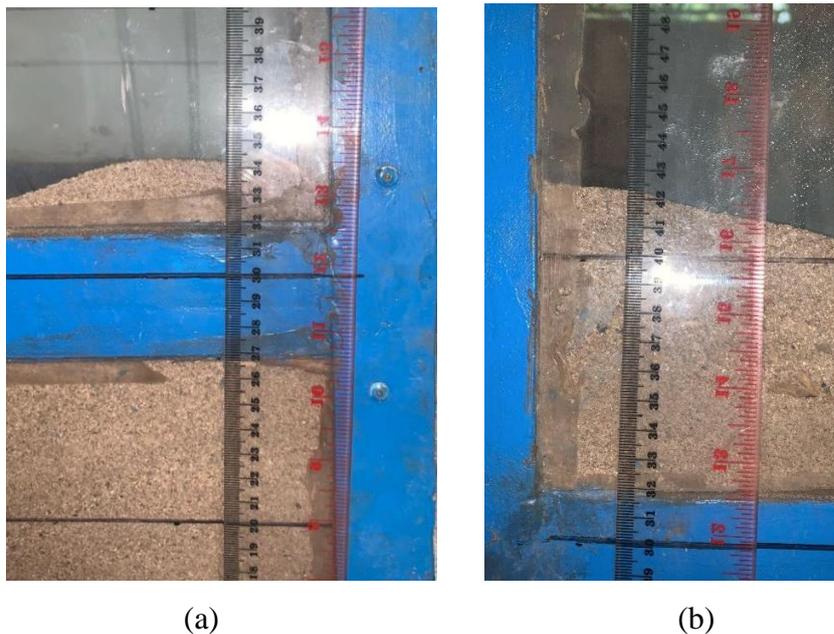
Selanjutnya pada gambar 4.2 pada kurva karakteristik fluidisasi variasi ketinggian 40 cm setelah diamati memiliki kesamaan pada hasil grafiknya dengan ketinggian 30 cm. Kondisi partikel bed di ruang fluidisasi juga sama dengan variasi ketinggian 30 cm, tetapi ΔP yang didapatkan pada ketinggian 40 cm lebih besar berturut-turut 4,91%; 7,64%; 5,33%; dan 0,84% dengan variasi ketinggian 30 cm. Hal tersebut dikarenakan bed yang lebih tinggi memiliki massa yang lebih besar sehingga semakin banyak fluida yang tertahan yang menyebabkan semakin besar hilang tekannya (Kristiantana et al., 2013).

Berdasarkan pada gambar 4.1b grafik mengalami kenaikan secara linear sampai pada kecepatan fluida 140 cm/s; lalu pressure drop mengalami penurunan pada laju 205 cm/s, yang mana menurut (Agi, 2012), pada kecepatan fluida 140 cm/s; nilai kecepatan minimum fluidisasi (U_{mf}) sudah tercapai dan pada titik selanjutnya pressure drop mengalami penurunan yang menunjukkan bahwa material bed pada ruang fluidisasi sudah terfluidisasi.

Selanjutnya pada variasi ketinggian 50 cm grafik pada gambar 4.1c menunjukkan bahwa pressure drop mengalami kenaikan secara linear dan pada variasi ini tidak terjadi fluidisasi, partikel yang terfluidisasikan akan menunjukkan pressure drop mengalami kenaikan hingga mencapai titik maksimum dan akan

turun kemudian akan konstan terhadap laju fluida. Pada variasi ketinggian 50 cm tidak terjadi fluidisasi, hal tersebut dapat terjadi karena kecepatan fluida tidak cukup untuk memberi gaya angkat atau untuk membuat partikel terfluidisasi, selain itu berbeda dengan titik sebelumnya pada ketinggian 50 cm massa partikel bed lebih berat karena volume bed lebih besar, sehingga ketika massa partikel bed semakin berat maka akan semakin besar pula U_{mf} -nya (Kristiantana et al., 2013) yang mana pada percobaan ini kecepatan fluida belum mencapai nilai U_{mf} -nya yang membuat tidak terjadinya fluidisasi pada percobaan ini.

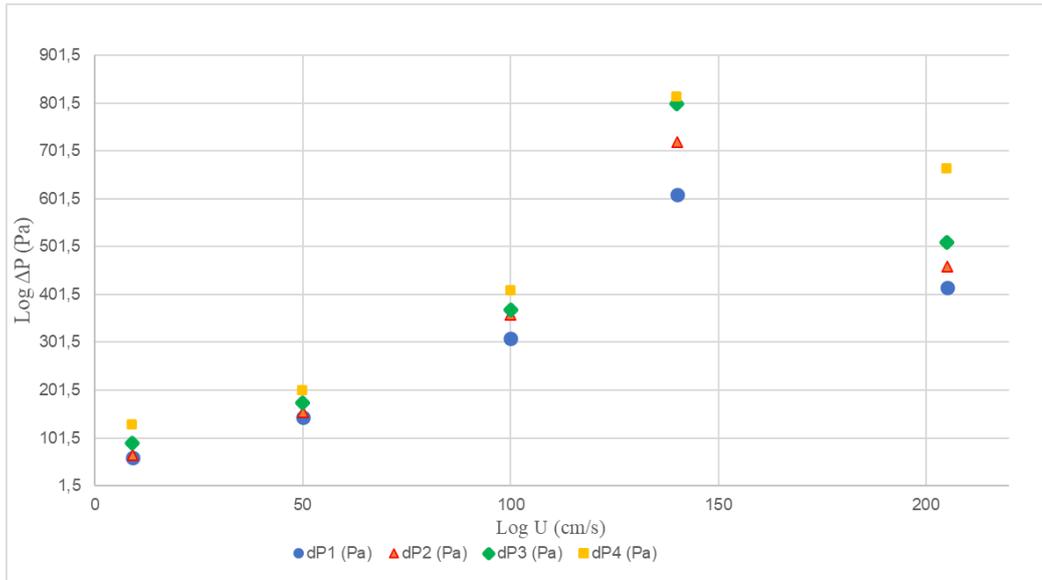
Selain itu diamati fenomena fluidisasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2, dimana pada percobaan ini material *bed* mengalami ekspansi sebesar 34 cm dari ketinggian awal 30 cm dan ekspansi sebesar 42,5 cm dari ketinggian awal 40 cm setelah material *bed* selesai terfluidisasikan.



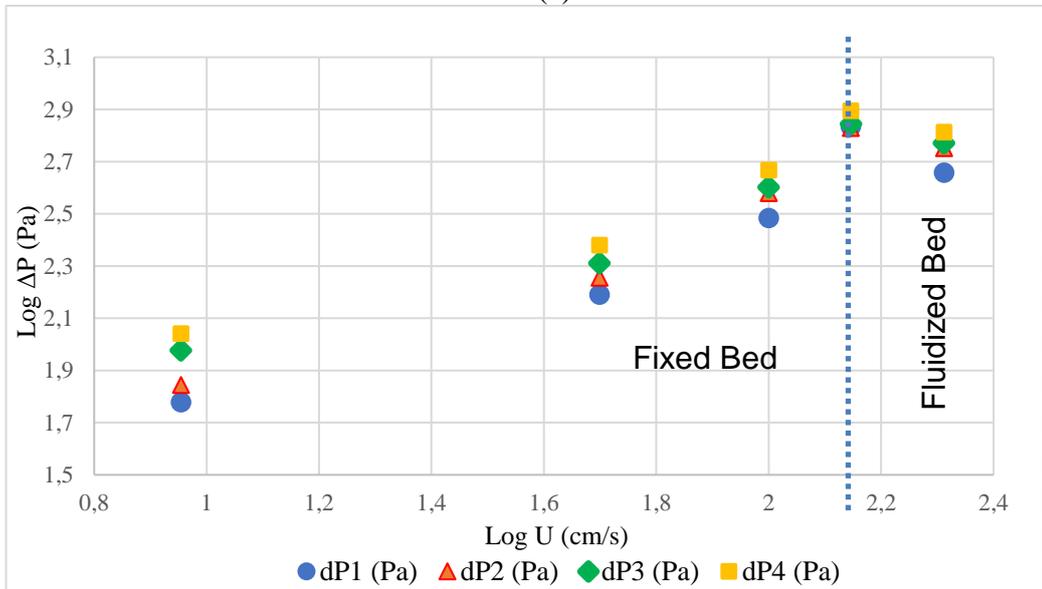
Gambar 4.2 Ekspansi material bed pada variasi (a) 30 cm (b) 40 cm

Ekspansi *bed* yang terjadi pada ruang fluidisasi dapat terjadi karena partikel *bed* yang terangkat saat terfluidisasi menciptakan ruang antar partikel yang lebih besar sehingga terjadi nya peningkatan ketinggian bed saat bed di kondisi akhir fluidisasi. Pasir silika yang digunakan dalam penelitian ini memiliki diameter partikel rata-rata sebesar 0,67 mm,. menurut klasifikasi kurva geldart berada pada

grup B, Material bed pada grup B memiliki karakteristik partikel yang cenderung lebih mudah terfluidisasikan (Cocco & Chew, 2023), karena itu jika kecepatan fluida cukup, maka fluidisasi dapat terjadi. Dalam penelitian ini fluidisasi terjadi pada variasi 30 cm dan 40 cm. Adapun berikut merupakan perbandingan kurva karakterstik dalam bentuk logaritmik dan linear



(a)



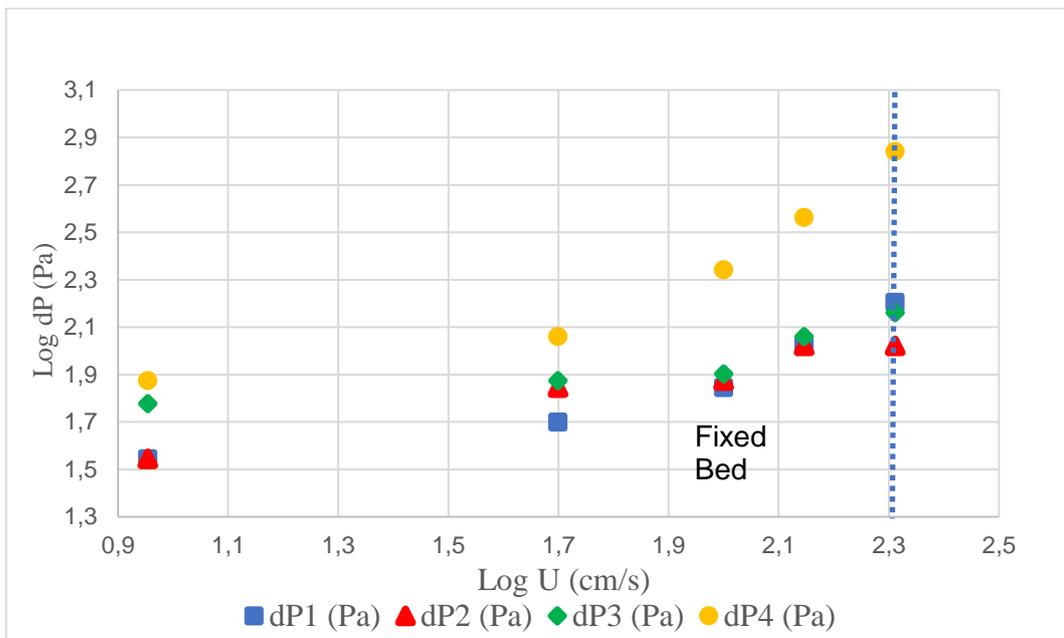
(b)

Gambar 4.3 Perbandingan kurva karakteristik fluidisasi dalam bentuk (a) linear (b) logaritmik

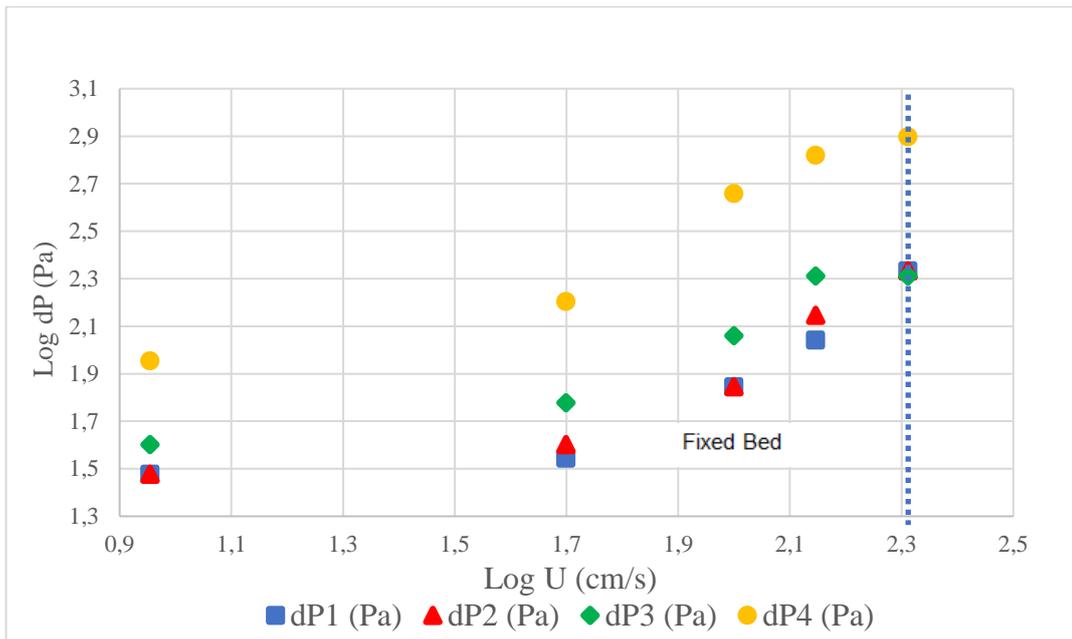
Pada fluidisasi kecepatan fluida bervariasi dari kecepatan awal (dalam fixed bed) hingga sangat besar untuk membuat terfluidisasi memiliki rentang data yang sangat luas, selain itu pressure drop terjadi perubahan drastis dari kondisi awal yaitu nol, hingga mencapai nilai maksimumnya. Berdasarkan hasil perbandingan tersebut grafik yang tidak dalam bentuk log (linear) dan grafik dalam skala log pada gambar di atas bahwa dalam skala linear rentang data sulit diamati yang menyebabkan sulit mengidentifikasi antar regim fluidisasi (fixed bed → minimum fluidization → fluidized bed) (Bi & Grace, 1995). Dalam skala logaritmik setiap tahapan dapat terlihat dengan jelas karena perbedaan kecil dalam data dapat diwakili dengan baik, karena itu umumnya digunakan kurva karakteristik fluidisasi dalam bentuk skala logaritmik karena dapat memudahkan analisa dalam penentuan regim fluidisasi

4.3 Kurva Karakteristik Fluidisasi Batubara

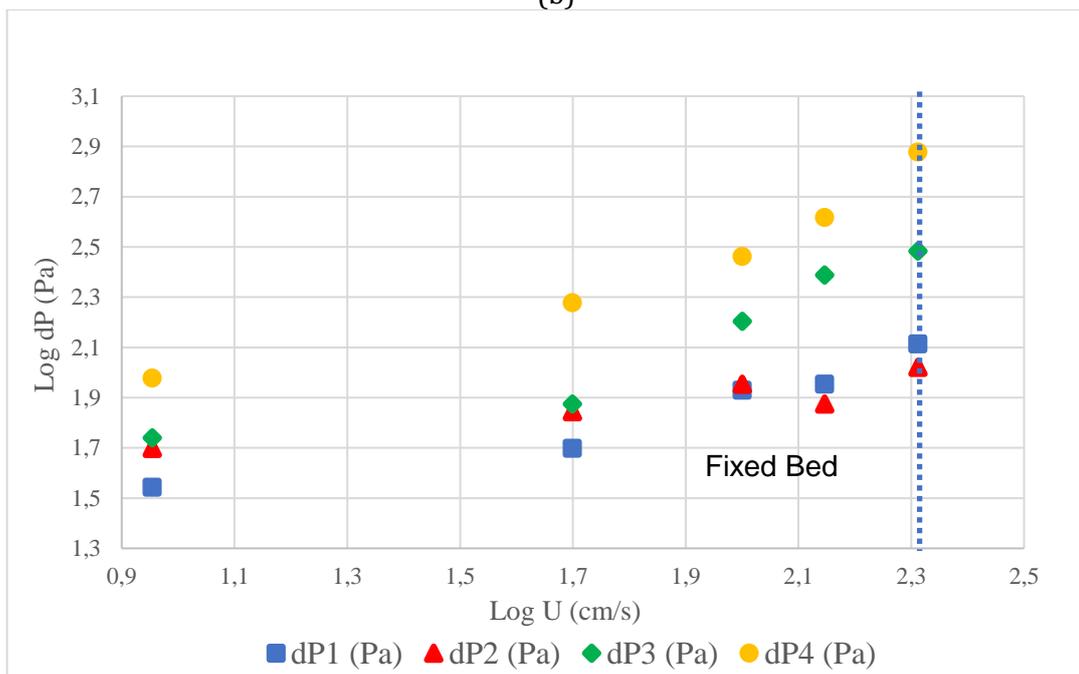
Berikut merupakan kurva karakteristik fluidisasi variasi material bed batubara sebagai berikut :



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.3 Kurva karakteristik fluidisasi batubara pada ketinggian (a) 30 cm (b) 40 cm (c) 50 cm

Pada gambar kurva karakteristik fluidisasi ketinggian 30 cm grafik mengalami kenaikan secara linear pada kecepatan fluida 140 cm/s dan 205 cm/s , dan setelah itu grafik turun pressure drop pada ΔP_2 pada kecepatan fluida 205 cm/s dengan Nilai yang diperoleh pada ΔP_2 lebih kecil dibandingkan ΔP_1 . Pada

kecepatan kecepatan fluida 9 cm/s dan 50 cm/s belum terjadi kenaikan yang signifikan. Menurut Aditya (2020), pada kecepatan tersebut udara belum mampu mengangkat partikel dan udara hanya melewati celah celah partikel tanpa menyebabkan perubahan susunan partikel tersebut. Dan pada kecepatan 100 cm/s dan 140 cm/s terjadi kenaikan diantara kedua nya hal ini terjadi karena partikel yang awalnya diam mulai terjadi ekspansi. Pada kecepatan fluida 205 cm/s terjadi kenaikan dan mengalami penurunan di ΔP_2 . Menurut dalimunthe, dkk. (2018), pressure drop menurun dengan menurunnya kecepatan fluida karena sebelum melewati kecepatan fluidisasi minimum nilai pressure drop akan menurun saat kecepatan superficial diturunkan. Jadi pada kurva karakteristik 30cm ini belum terjadi fluidisasi hanya terjadi ekspansi di dalam unggun

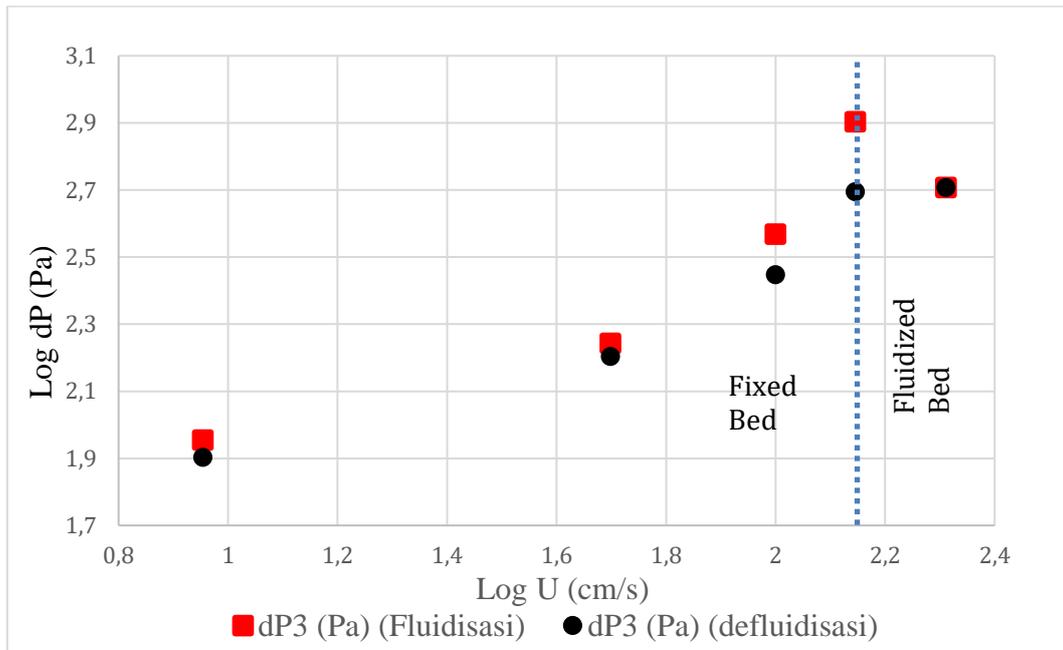
Selanjutnya adalah kurva karakteristik di ketinggian 40 cm menunjukkan pola grafik yang berbeda dengan ketinggian 30 cm. pada kurva di ketinggian 40 cm ini terjadi kenaikan yang signifikan pada ke 5 titiknya dan terjadi 1 penurunan kecepatan fluida 205 cm/s pada ΔP_3 . Setelah itu Pressure drop mengalami kenaikan secara signifikan pada ΔP_1 sampai dengan ΔP_4 Menurut Agung. (2016), Pressure drop naik secara signifikan hal ini terjadi karena ketika kecepatan fluida dinaikan partikel yang awal mula diam akan mulai berekspansi sedikit pada unggun yang awalnya 40cm akan naik menjadi 41cm. Selain itu pada ketinggian 40 cm ini pressure drop cenderung meningkat secara signifikan tetapi tidak terjadinya proses fluidisasi karena hanya terjadi ekspansi pada permukaan unggun. Pada kurva di ketinggian 40cm ini masih sama dengan kurva 30 cm masih belum terjadi fluidisasi.

Kurva karakteristik di ketinggian 50 cm menunjukkan pola yang berbeda dari kedua ketinggian yaitu 30 cm dan 40 cm. Pola pada kurva karakteristik 50 cm ini terjadi perubahan fluktuatif. Pada grafik ketinggian 50 cm ini tidak terjadi fluidisasi (Aditya D, 2020) Hal ini terjadi karena kecepatan fluida fluida tidak cukup kuat untuk memberi gaya angkat untuk membuat terfluidisasi, selain itu berbeda dengan titik sebelumnya pada ketinggian 50 cm, massa partikel bed lebih berat karena volume bed lebih besar, yang mana ketika massa partikel bed semakin berat maka akan semakin besar pula U_{mf} -nya (Kristiantana et al., 2013). Material bed ini termasuk dalam jenis partikel paling kasar karena memiliki ukuran partikel

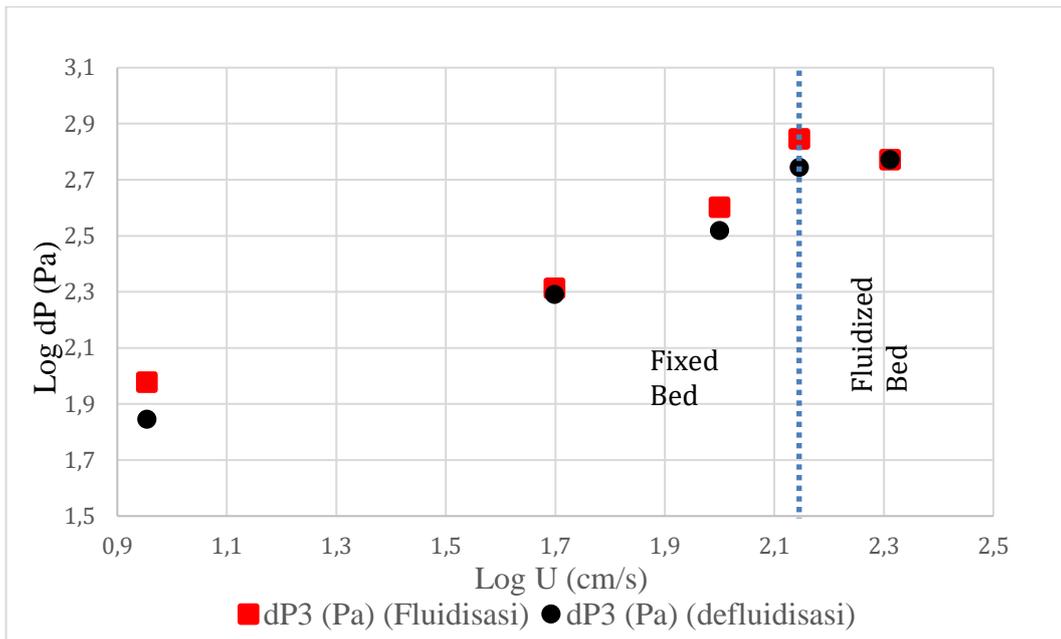
pada d_{50} sebesar 1,169 mm dan masuk kedalam grup D pada kurva geldarts. Batubara sulit terfluidisasi karena membutuhkan kecepatan yang jauh lebih tinggi untuk membuat terfluidisasi partikel ini (Basu, 2015).

4.4 Perbandingan Nilai U_{mf} Experiment dan Prediksi

Kurva karakteristik fluidisasi merupakan cara paling mudah untuk mengetahui perubahan pada ruang fluidisasi dari keadaan *fixed bed* menjadi *fluidized bed*. Ketika partikel sudah mencapai keadaan fluidized bed, maka partikel tersebut telah melewati nilai U_{mf} -nya. Karena itu dilakukan percobaan ini untuk mengetahui nilai U_{mf} -nya. Adapun hasilnya sebagai berikut :



(a)



(b)

Gambar 4.4 Kurva Karakteristik Fluidisasi Pasir Silika (a) 30 cm (b) 40 cm

Untuk mengetahui nilai U_{mf} secara akurat dan paling mudah dapat menggunakan kurva karakteristik fluidisasi (Thermopedia, 2014) dengan membuat grafik Δp ataupun menggunakan tinggi bed saat fluidisasi dengan kecepatan fluidanya. Pada percobaan ini nilai U_{mf} eksperimen didapatkan dengan membuat kurva pressure drop dengan kecepatan fluida yang dinaikkan (*fluidization*) dan kecepatan fluida diturunkan (*defluidization*) dengan menggunakan kurva logaritmik. Nilai U_{mf} didapatkan dengan mengamati grafik tersebut. Berdasarkan hasil yang didapatkan fluidisasi terjadi hanya pada variasi pasir silika di ketinggian 30 cm dan 40 cm

Berdasarkan grafik pada gambar 4.4a dan 4.4b, didapatkan bahwa ketika kecepatan fluida diturunkan (*defluidization*) dari 205 cm/s ke 140 cm/s kurva pada grafik tersebut membentuk garis yang linear. Setelah membentuk garis yang linear ΔP menurun sampai ketitik awal, tetapi ΔP yang didapatkan saat penurunan kecepatan fluida (*defluidization*) lebih rendah dibandingkan saat kecepatan fluida dinaikkan, hal tersebut dapat terjadi karena partikel padat pada kondisi awal tersusun lebih rapat sehingga membuat Δp semakin besar, hal tersebut dapat dibuktikan bahwa pada variasi ketinggian 30 cm saat kondisi akhir ketinggian bed

bereksansi menjadi 34.5 cm dari 30 cm.

Nilai U_{mf} eksperimen sendiri pada percobaan ini diambil dari kecepatan fluida 140 cm/s pada kondisi *defluidization*, karena pada kecepatan fluida 140 cm/s membentuk garis linear dengan titik ke-5 atau pada kecepatan fluida 205 cm/s, selanjutnya pada titik ke-4 atau pada kecepatan fluida 140 cm/s grafik menurun hal ini sesuai dengan teori yang berarti nilai U_{mf} berada di sekitar ± 140 cm/s. Selain itu dilakukan pendekatan teoritis untuk mengetahui nilai U_{mf} yang lebih akurat menggunakan persamaan 3.3. Adapun hasil dapat dilihat pada tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.2 Perbandingan nilai U_{mf} Exp, dengan pers 3.1

Partikel bed	Ketinggian (cm)	U_{mf} exp (cm/s)	U_{mf} pers. 3.3 (cm/s)	%error
Pasir silika	30	140	39,72	70,57
	40	140	39,72	70,57

Pada pers. 3.2 %error yang didapatkan yaitu 70,57% dengan nilai U_{mf} sebesar 39,726 cm/s. Terjadinya perbedaan nilai U_{mf} yang berbeda antara teori dengan eksperimen dikarenakan faktor lain seperti pada perumusan persamaan tersebut mengasumsikan bahwa fluidisasi terjadi pada keadaan ideal, selain itu *solid friction* dan interlock antar partikel pasir silika yang membuatnya semakin sulit untuk terfluidisasi karena memerlukan kecepatan fluida yang lebih besar untuk mengatasi gaya interlock antar partikel tersebut.

4.5 Perbandingan *Aircaps Bell-Type innovative* & *Aircaps Bell-Type konvensional*

Pada penelitian ini telah dilakukan percobaan pada *aircap* inovatif untuk membandingkan desain *aircap bell-type* konvensional dan inovatif. Pada *aircap bell-type* inovatif menunjukkan bahwa pressure drop rata-rata yang didapatkan pada variasi material bed pasir silika dan batubara secara berturut-turut 28,13 % dan 20,72 % lebih kecil dibandingkan *aircap bell-type* konvensional. Hal tersebut dapat terjadi karena pada *air-cap bell-type* inovatif telah dimodifikasi strukturalnya,

dengan melakukan optimasi aliran fluida saat melewati *aircap* inovatif, dengan adanya kemiringan 15° pada outlet cover tube dapat meningkatkan jet penetrasi (Liu et al, 2019). Menurut Xiaozhou (2021) penambahan sudut hingga kemiringan 60° dapat mengurangi terjadinya *backflow* sehingga abrasi pada *cover tube* dan *blocking hole* dapat dihindari, selain itu udara dapat mengenai alas di bagian bawah fluidisasi dan memantul ke atas sehingga dapat membuat material bed di alas ruang fluidisasi dapat terangkat. Pada tiap variasi kemiringan sudut pada cover tube dapat membuat pola aliran yang berbeda di tiap sudut. pemilihan sudut kemiringan 15° pada outlet cover tube didasarkan untuk mengontrol aliran fluida agar dapat lebih stabil pada bed yang kecil, serta belum banyaknya terkait penelitian menggunakan sudut kemiringan 15° .

Selain itu pressure drop yang dihasilkan lebih rendah sehingga energi yang digunakan akan lebih sedikit, karena jika pressure drop nya tinggi maka energi yang diperlukan dalam suatu proses akan lebih banyak, dan jika energi lebih banyak maka biaya operasi yang di butuh akan akan meningkat (Zulnazri et al, 2020). Berdasarkan hal tersebut menunjukkan bahwa *aircap* inovatif dapat memberikan pressure drop yang lebih rendah dibandingkan *aircap bell-type* konvensional yang dapat meningkatkan efisiensi fluidisasi.