ANALISA UKURAN DAN LAJU ALIR BATUBARA PADA BOILER PULVERIZER PLTU 660 MW

Ruly Bayu Sitanggang¹⁾, Eko Supriyanto²⁾

^{1,2} Bidang Riset Sistem Pembangkitan, PT (PLN) Persero Research Institute

Email: rully.bs@pln.co.id ¹⁾

Nomor Telp : +62 852 2005 5339

Asal Negara: Indonesia

ABSTRAK

Pulverizer adalah salah satu peralatan penting di pembangkit listrik tenaga uap. Partikel batubara yang masih terbakar di area *back pass* boiler akan mengakibatkan penurunan efisiensi sehingga laju aliran campuran udara dan batubara di saluran pipa bahan bakar perlu diseimbangkan. Penelitian ini dilakukan pada PLTU Batubara tipe *pulverized coal* dengan kapasitas 660 Megawatt yang menggunakan enam *pulverizer*. Aliran keseimbangan bahan bakar diperiksa menggunakan uji *dirty air* dan pengambilan sampel ukuran batubara dilakukan dengan metode isokinetic. Dalam pengujian *dirty air* tiga *pulverizer* masih mengalami turbulensi, menyebabkan pengukuran kecepatan udara menjadi kurang akurat dan hasil pengujian *dirty air* pada tiga *pulverizer* lainnya menunjukkan hasil baik dengan kecepatan antar pipa batubara seragam. Lokasi tap test pada *pulverizer* D, C, dan A disarankan dipindahkan ke jarak sekitar lima kali diameter pipa dari hambatan. Temperatur keluaran seluruh *pulverizer* pada masih lebih rendah dari nilai standard. Karena tidak ada *orifice* di dalam pipa batubara, menaikkan suhu keluaran *pulverizer* ke 65 °C dapat dilakukan untuk meningkatkan keseimbangan kecepatan batubara. Secara keseluruhan, pengujian kehalusan sampel batubara menunjukkan hasil sesuai rekomendasi, dengan nilai kehalusan rata-rata lolos saringan 200 mesh *pulverizer* A, B, C, D, E, dan F masing-masing adalah 82,12, 83,24, 73,96, 79,13, 68,14, dan 78,43% berat.

Kata kunci: *pulverizer*, isokinetic, pengujian *dirty air*, coal balancing.

ABSTRACT

Pulverizers are one of the most critical pieces of equipment in a pulverized coal steam power plant. Coal particulates that continue to burn in the back pass result in decreased boiler efficiency. This study was carried out at a 660 MW power plant with six pulverizers. A dirty air test and isokinetic sample are used to investigate the fuel balance. Some coal lines in the dirty air test for three pulverizers still had turbulence, causing the dirty air velocity measurements less accurate. Because the velocity of dirty air between coal pipes is uniform, the results of the dirty air test on the other three pulverizers are excellent. The temperature in the six-pulverizer outlet is still below the required value. The test position on the D, C, and A pulverizers should be moved to a distance five times the coal pipe. Because there is no orifice in the coal pipe, raising the pulverizer outlet temperature to 65 °C may improve the flow balance in each coal pipe. Overall, the fineness testing revealed that they were still within the recommended range, with an average values of 82.12, 83.24, 73.96, 79.13, 68.14 and 78.43 wt percent for pulverizer A, B, C, D, E, and F, respectively.

Keywords: *pulverizer*, isokinetic, dirty air test, coal balancing.

1. PENDAHULUAN

Salah satu peralatan terpenting pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) batubara yang menggunakan boiler tipe *pulverized coal* (PC) adalah *pulverizer*. Suhu gas keluar ruang bakar yang tinggi (FEGT) (Wiatros-Motyka, 2016), proses pembakaran yang tidak baik, temperatur permukaan *superheater* yang tinggi (Nugroho & Ichsani, 2019), peningkatan tara kalor pembangkit (Prasetyo & Prabowo, 2019), laju alir air pendingin uap *superheat*, dan pemborosan pada air pengisi boiler adalah permasalahan yang sering dialami boiler dengan performa *pulverizer* yang tidak baik. Disisi lain buruknya performa *pulverizer* juga dapat

mengakibatkan pembentukan terak dan lapisan pengotor pada permukaan pipa boiler (Schreiber et al., 2008). Peningkatan efisiensi energi di PLTU batubara dapat dicapai dengan mengoptimalkan distribusi bahan bakar, keseimbangan aliran udara primer dan batubara pada saluran bahan bakar yang dapat dikendalikan atau diperbaiki. (Żymelka et al., 2017). Berkurangnya efisiensi boiler dan meningkatnya pembentukan terak serta lapisan deposit pada permukaan pipa boiler disebabkan oleh partikel batubara yang terbakar di area *backpass* setelah tidak habis terbakar di area ruang bakar boiler. Selain itu pengaturan pada *pulverizer* serta laju aliran udara, harus dilakukan untuk mencapai potensi reduksi

emisi NO_x. (Li & Yao, 2017). Pada partikel batubara yang berada di udara yang mengalir pada kecepatan tertentu, maka semakin tinggi momentum yang dimilikinya, akan semakin mudah terjadi pemisahan antara partikel batubara halus dengan partikel batubara yang berukuran besar dan terjadi ketidakseimbangan pada laju aliran bahan bakar. Dengan menggunakan batubara yang berukuran partikel kecil atau halus, waktu pembakaran pada ruang bakar akan memadai untuk terjadinya pembakaran seluruh partikel batubara tanpa mencapai area *backpass* atau area *superheater* sehingga meningkatkan efektifitas proses pembakaran pada boiler dan menurunkan biaya operasi (POWER, 2011, p. 101). Proporsi batubara dengan ukuran besar pada udara pembakaran akan menyebabkan penurunan laju aliran udara pada saluran pembakaran. Untuk menjaga kesetimbangan laju alir udara pada saluran bahan bakar, perlu dilakukan pengujian *dirty air* pada saluran bahan bakar saat PLTU beroperasi namun kegiatan tersebut umumnya jarang dilaksanakan pada PLTU yang telah beroperasi. Jika terjadi gangguan yang menyebabkan perubahan pada ukuran batubara yang dihasilkan pulverizer maka cenderung akan menyebabkan sistem distribusi batu bara akan tidak efisien, maka diperlukan untuk membuat suatu baseline performa dari kesetimbangan distribusi batubara di tiap pipa saluran batubara dari pulverizer menuju boiler yang dapat dilakukan dengan monitoring laju alir, ukuran batubara dan kecepatan batubara (POWER, 2010).

Pemeriksaan laju alir batubara dan pengujian ukuran partikel batubara secara isokinetik merupakan hal yang penting, namun referensi yang menjelaskan proses pengujian *dirty air* dan *isokinetic sampling* pada PLTU *subcritical* skala menengah maka pada studi ini akan dibahas proses pengujian *dirty air* dan pengamatan ukuran batubara melakukan isokinetik untuk melihat kesetimbangan distribusi bahan bakar antara tiap pipa distribusi batubara dari pulverizer ke boiler. Studi ini dilakukan pada PLTU kapasitas 660 MW yang terletak di Paiton, Jawa Timur, Indonesia. Diharapkan makalah ini dapat dijadikan referensi jika akan dilaksanakan pengujian serupa di PLTU lain.

2. METODE

Boiler yang digunakan pada pengujian ini adalah boiler tipe sirkulasi paksa, burner yang terletak pada bagian sisi, aliran udara yang seimbang, menggunakan *reheat*, dapat beroperasi pada tekanan uap konstan ataupun bervariasi dan menggunakan bahan bakar batubara yang telah dihaluskan menggunakan *pulverizer*. Adapun metode penelitian yang dilakukan pada studi ini dapat dilihat pada Gambar 1. Setiap pulverizer di set untuk beroperasi pada rating maksimum, kemudian pada setiap coal pipe dilakukan pengujian *dirty air* test. Setelah itu dilakukan perhitungan delta tekanan untuk penentuan kecepatan isokinetik pengambilan sampel batubara. Setelah itu kemudian dilakukan pengukuran

distribusi ukuran batubara dari tiap pulverizer dan dilakukan analisis hasil. Terdapat 24 burner yang terletak pada empat sisi boiler dengan mode pembakaran tangential. Sistem pulverizer yang digunakan menggunakan sistem udara primer untuk transport bahan bakar ke boiler dengan enam buah *bowl pulverizer* tipe HP 1163 yang dioperasikan pada kapasitas maksimum saat pengujian masing – masing pulverizer.

Gambar 1. Metode penelitian

Setiap pulverizer memiliki empat pipa keluaran untuk distribusi batubara menuju boiler yang dinamakan *coal pipe*. Spesifikasi dari pulverizer ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 .
Spesifikasi pulverizer

	HP1163
Tipe	bowl -type medium-speed
Kapasitas	88.4 T/h
Ukuran batubara masuk	0~35mm(95%), 35~50mm(5%)
Kelembaban batubara	33
HGI batubara	50
Pembukaan	A B C D E F
Classifier	5 5 5 6 7 5

Pada saat PLTU operasi dengan beban maksimum, lima pulverizer akan beroperasi dan satu pulverizer akan *standby*. Skema susunan dari pulverizer dapat dilihat pada Gambar 2. Temperatur udara sekitar, tekanan udara dan kelembaban relatif diambil setiap lima menit saat pengujian dilakukan menggunakan sensor portable yang dapat menyimpan data secara otomatis (*data logger*).

2.1. Pengujian *Dirty air*

Pada setiap *coal pipe* terdapat satu tapping pengujian untuk memasukkan probe pengujian. Pengujian dilakukan pada sisi vertical tiap *coal pipe*. Sebelum dilakukan pengujian *dirty air*, data temperatur dan tekanan statis dalam *coal pipe* diukur menggunakan termokopel tipe K dan sensor tekanan statis seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Pengukuran temperatur dilakukan pada tiga titik yaitu dua posisi ujung dan satu posisi tengah. Diameter dalam *coal pipe* adalah 70 cm dan sesuai rekomendasi ada 12 titik pengukuran sesuai ASME PTC 4.2 (ASME, 1969). Jarak titik pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 2. Layout pulverizer pada PLTU

Gambar 3. Skema pengukuran temperatur dan tekanan statis dalam *coal pipe*.

Gambar 4. Jarak titik pengambilan data pada *coal pipe*.

Kecepatan campuran udara dan partikel udara pada tiap *coal pipe* dilakukan untuk menentukan laju pengambilan sampel secara isokinetic. Skema pengujian *dirty air* ditunjukkan pada Gambar 5. Probe yang digunakan memungkinkan untuk pengambilan data dilakukan pada lingkungan dengan kandungan debu yang tinggi sehingga menurunkan kemungkinan probe untuk berhenti berfungsi. Dua saluran selang untuk tekanan tinggi dan tekanan rendah menghubungkan probe *dirty air* ke manometer 10 inci yang memiliki kemiringan. Pada saat pengujian probe akan digerakkan sesuai jarak dari dua belas titik yang telah ditentukan pada Gambar 4, kemudian tekanan yang terbaca pada manometer akan dicatat.

Kecepatan campuran udara dan batubara (*dirty air velocity*) kemudian dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Density } (\rho) = \frac{530}{460 + T} \times \frac{B_p + \frac{S_p}{13.6}}{29.92} \times 0.075 \quad (1)$$

Note:

- T = Temperatur dalam *coal pipe* (F)
 Bp = Tekanan udara (inch Hg)
 Sp = Tekanan statis pada *coal pipe* (inch

$$\text{Dirty air velocity} = 1096 \frac{\text{Avg} \sqrt{vh}}{\pi} \times K \quad (2)$$

$$\text{Avg} \sqrt{vh} = \frac{\sum_{vh=1}^n \sqrt{vh}}{n} \quad (3)$$

Note:

- K = Faktor Probe K
 vh = Velocity head (inch wc)
 n = Jumlah titik pengambilan data

2.2. Pengambilan sampel batubara secara Isokinetic

Setelah pengukuran *dirty air velocity* pada tiap *coal pipe* dilakukan pengambilan sampel batubara secara isokinetic. Titik pengambilan sampel yang digunakan sama dengan titik pengujian *dirty air*.

Gambar 5. Skema pengujian *dirty air*

Skema dari pengambilan sampel secara isokinetic ditunjukkan pada Gambar 6. Perbedaan tekanan pada orifice saat pengambilan sampel dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\Delta P = 1.573 \times (avg \sqrt{vh})^2 \times (K)^2 \quad (4)$$

Perbedaan tekanan pada setiap titik akan disesuaikan dengan hasil perhitungan untuk memastikan sampel batubara terambil secara isokinetic.

Pada saat pengujian perbedaan tekanan tersebut dimonitor dan dijaga konstan sesuai dengan hasil perhitungan di setiap coal pipe. Untuk mengatur

perbedaan tekanan tersebut digunakan suplai udara dari kompresor alat bantu PLTU yang diatur menggunakan katup. Waktu pengumpulan sampel pada setiap titik adalah 20 detik sehingga waktu total pengambilan sampel untuk tiap coal pipe adalah empat menit. Setelah semua sampel dari titik terkumpul pada tabung sampel, sampel batubara kemudian dikumpulkan dalam kantong uji dan diberikan penamaan sesuai lokasi pengambilan sampel. Distribusi persentase ukuran batubara yang diambil kemudian akan berdasarkan ASTM D-197 (ASTM, 2007) dengan menggunakan saringan dengan ukuran mesh 48, 100, 150 dan 200 seperti dicantumkan juga pada petunjuk pengujian performa pembangkit listrik oleh ASME (ASME, 2010).

Gambar 6. Skema pengambilan sampel batubara secara isokinetic

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil *Dirty air Test Pulverizer A* ditunjukkan pada *Velocity dirty air* pada coal pipe 1, 2, 3 dan 4 secara urut sebesar 23,53, 33,61, 33,83 dan 29,18 (m/s) dengan rerata *dirty air velocity* sebesar 30,04 m/s. Berdasarkan nilai *dirty air velocity* diatas maka didapat *velocity deviation* terhadap rerata *velocity* untuk coal pipe 1, 2, 3 dan 4 sebesar -21,66, 11,88, 12,62 dan 2,85 (%).

Rekomendasi deviasi pada coal pipe adalah $\pm 5\%$ pada masing – masing coal pipe terhadap rerata *velocity* (Storm & Consultant, 2009) (Brown & McClellan, 2017).

Gambar 7. Grafik *dirty air velocity* pulverizer A

Pada coal pipe 1 terjadi *under velocity* karena nilai deviasi sebesar -21,66 % terhadap rata-rata. Pada coal pipe 1 aliran cenderung kurang stabil, sehingga pembacaan tekanan dinamis kurang akurat. Untuk mendapatkan data yang lebih akurat, posisi tap test perlu dipindahkan menjauh dari hambatan aliran seperti belokan pada pipa. Temperatur keluaran mill A dari DCS menunjukkan 59,3 °C, sedangkan temperature coal pipe hasil *dirty air test* sebesar 134,3 °F (56,8 °C). Hasil pengujian fineness pulverizer A ditunjukkan pada Tabel 2, fineness lolos ayakan 200 mesh dari sampel isokinetic pada coal pipe 1, 2, 3 dan 4 secara urut sebesar 64,53, 93,85, 89,71 dan 80,38 (%wt) dengan nilai rata-rata 82,12 %wt.

Tabel 2 .
Fineness batubara pulverizer A

Ukuran mesh	Coal Pipe (% wt)				Rerata
	1	2	3	4	
200	64,53	93,85	89,71	80,38	82,12
150	75,72	96,80	94,84	88,81	89,04
100	88,13	98,35	97,58	95,48	94,89
48	99,49	99,52	99,47	99,69	99,54

Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kehalusan batubara yang dihasilkan oleh pulverizer A masih dalam kondisi baik sesuai rekomendasi EPRI untuk batubara tipe lignite maka fineness lolos 200 mesh disarankan dalam rentang 60 – 70 % (EPRI, 1998).

Hasil *dirty air* test pulverizer B ditunjukkan pada Gambar 8, *velocity dirty air* pada coal pipe 1, 2, 3 dan 4 secara urut sebesar 31,19, 33,20, 36,00 dan 34,86 (m/s) dengan rerata *dirty air velocity* sebesar 33,81 m/s. Berdasarkan nilai *dirty air velocity* tersebut maka didapat *velocity deviation* terhadap rerata *velocity* untuk coal pipe 1, 2, 3 dan 4 sebesar -7,75, -1,80, 6,46 dan 3,09 (%). Pada coal pipe 1 sedikit terjadi *under velocity* karena nilai deviasi sebesar -7,75 %, sedangkan pada coal pipe 3 sedikit terjadi *over velocity* sebesar 6,46 % terhadap rerata.

Gambar 8. Grafik *dirty air velocity* pulverizer B

Temperature keluaran mill B dari DCS menunjukkan 59,92 °C, sedangkan temperature coal pipe hasil *dirty air* test sebesar 134,6 °F (57,0 °C). Hasil pengujian fineness pulverizer B ditunjukkan pada Tabel 3, fineness lolos ayakan 200 mesh dari sampel isokinetic pada coal pipe 1, 2, 3 dan 4 secara urut sebesar 71,55, 81,30, 92,10 dan 88,02 (%wt) dengan nilai rata-rata 83,24 %wt. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kehalusan batubara yang dihasilkan oleh pulverizer B dalam kondisi baik.

Tabel 3.
Fineness batubara Pulverizer B

Ukuran mesh	Coal Pipe (% wt)				Rerata
	1	2	3	4	
200	71,55	81,30	92,10	88,02	83,24
150	82,71	89,33	96,37	93,41	90,45
100	93,15	96,02	98,65	97,53	96,34
48	99,80	99,74	99,67	99,80	99,75

Hasil *dirty air* test pulverizer C ditunjukkan pada Gambar 9. *Velocity dirty air* pada coal pipe 1, 2, 3 dan 4 secara urut sebesar 29,96, 22,19, 27,71 dan 30,43 (m/s) dengan rerata *dirty air velocity* sebesar 27,57 m/s. Berdasarkan nilai *dirty air velocity* tersebut maka didapat *velocity deviation* terhadap rerata *velocity* untuk coal pipe 1, 2, 3 dan 4 sebesar 8,66, -19,52, 0,51 dan 10,36 (%).

Gambar 9. Grafik *dirty air velocity* pulverizer C

Pada coal pipe 2 terjadi *under velocity* karena nilai deviasi sebesar -19,52 % terhadap rata-rata. Hal ini karena masih terdapat aliran turbulensi saat pembacaan tekanan dinamis pada coal pipe 2, sehingga hasil *velocity dirty air* kurang akurat sehingga perlu dilakukan pemindahan lokasi tap pengujian menjauh dari hambatan *upstream*.

Tabel 4.
Fineness batubara Pulverizer C

Ukuran mesh	Coal Pipe (% wt)				Rerata
	1	2	3	4	
200	67,64	62,40	91,04	74,74	73,96
150	80,18	75,63	96,08	85,19	84,27
100	91,34	88,78	98,62	93,52	93,06
48	99,39	98,95	99,66	99,44	99,36

Hasil pengujian fineness pulverizer C sesuai Tabel 4, fineness lolos ayakan 200 mesh dari sampel isokinetic pada coal pipe 1, 2, 3 dan 4 secara urut sebesar 67,64, 62,40, 91,04 dan 74,74 (%wt) dengan nilai rerata 73,96 %wt. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kehalusan batubara yang dihasilkan oleh pulverizer C masih dalam kondisi baik.

Hasil *dirty air* test pulverizer D ditunjukkan pada Gambar 10. *Velocity dirty air* pada coal pipe 1, 2, 3 dan 4 secara urut sebesar 16,93, 31,94, 36,65 dan 18,83 (m/s) dengan rerata *dirty air velocity* sebesar 26,09 m/s.

Gambar 10. Grafik *dirty air velocity* pulverizer D

Berdasarkan nilai *dirty air velocity* tersebut didapat *velocity deviation* terhadap rerata *velocity* untuk coal pipe 1, 2, 3 dan 4 sebesar -35,10, 22,42, 40,51 dan -27,83 (%). Pada coal pipe 1 dan 4 terjadi *under velocity* karena nilai deviasi sebesar -35,10 dan -27,83 (%) terhadap rata-rata. Hal ini karena adanya aliran turbulensi yang terbaca sebagai tekanan nol saat pengambilan data tekanan dinamis, sehingga nilai *velocity dirty air* pada coal pipe tersebut kurang akurat. Untuk menghindari aliran turbulensi tersebut perlu memindahkan posisi tap test lebih menjauh dari hambatan *upstream* atau digeser ke posisi atas.

Temperature keluaran mill D pada DCS menunjukkan 59,9 °C, sedangkan temperature coal pipe hasil *dirty air test* sebesar 134,6 °F (57,0 °C).

Tabel 5.
Fineness batubara Pulverizer D

Ukuran mesh	Coal Pipe (% wt)				Rerata
	1	2	3	4	
200	64,67	84,10	93,01	74,74	79,13
150	75,72	91,44	96,62	83,76	86,89
100	86,71	96,54	98,64	91,88	93,44
48	98,01	99,66	99,71	98,97	99,09

Hasil pengujian fineness pulverizer D ditunjukkan pada Tabel 5, fineness lolos ayakan 200 mesh dari sampel isokinetic pada coal pipe 1, 2, 3 dan 4 secara urut sebesar 64,67, 84,10, 93,01 dan 74,74 (%wt) dengan nilai rata-rata 79,13 %wt. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kehalusan batubara yang dihasilkan oleh pulverizer D masih dalam kondisi baik.

Hasil *dirty air test* pulverizer E ditunjukkan pada Gambar 11. *Velocity dirty air* pada coal pipe 1, 2, 3 dan 4 secara urut sebesar 30,11, 34,33, 31,93 dan 33,95 (m/s) dengan rerata *dirty air velocity* sebesar 32,58 m/s.

Gambar 11. Grafik *dirty air velocity* pulverizer E

Berdasarkan nilai *dirty air velocity* diatas maka didapat *velocity deviation* terhadap rerata *velocity* untuk coal pipe 1, 2, 3 dan 4 sebesar -7,57, 5,37, -2,00 dan 4,20 (%). Pada coal pipe 1 terjadi *under velocity* karena nilai deviasi sebesar -7,57 %. Temperature outlet mill yang ditunjukkan pada DCS

sebesar 59,2 °C, sedangkan temperatur pada coal pipe hasil *dirty air test* sebesar 137,0 °F (58,3 °C).

Tabel 6.
Fineness batubara Pulverizer E

Ukuran mesh	Coal Pipe (% wt)				Rerata
	1	2	3	4	
200	66,52	72,71	61,60	71,74	68,14
150	79,25	84,31	74,04	82,59	80,04
100	90,67	93,04	86,16	92,00	90,47
48	99,38	99,55	99,19	99,68	99,45

Hasil pengujian fineness pulverizer E ditunjukkan pada Tabel 6, fineness lolos ayakan 200 mesh dari sampel isokinetic pada coal pipe 1, 2, 3 dan 4 secara urut sebesar 66,52, 72,71, 61,60 dan 71,74 (%wt) dengan nilai rata-rata 68,14 %wt.

Gambar 12. Grafik *dirty air velocity* pulverizer F

Hasil *dirty air test* pulverizer F sesuai Gambar 12. *Velocity dirty air* pada coal pipe 1, 2, 3 dan 4 secara urut sebesar 29,55, 32,29, 33,73 dan 31,43 (m/s) dengan rerata *dirty air velocity* sebesar 31,75 m/s. Berdasarkan nilai *dirty air velocity* diatas maka didapat *velocity deviation* terhadap rerata *velocity* untuk coal pipe 1, 2, 3 dan 4 sebesar -6,94, 1,70, 6,24 dan -1,00 (%).

Pada coal pipe 1 sedikit terjadi *under velocity* dengan nilai deviasi sebesar -6,94 %, sedangkan pada coal pipe 3 sedikit terjadi *over velocity* sebesar 6,24 %. Untuk menyeimbangkan *velocity dirty air* dapat dilakukan dengan menyesuaikan pembukaan orifice, atau dengan menaikkan temperature outlet mill hingga mencapai titik optimal.

Tabel 7.
Fineness batubara Pulverizer F

Ukuran mesh	Coal Pipe (% wt)				Rerata
	1	2	3	4	
200	76,57	72,25	82,07	82,82	78,43
150	86,01	82,57	89,11	90,10	86,95
100	93,96	92,27	94,98	95,38	94,15
48	99,57	99,54	99,48	99,37	99,49

Hasil pengujian temperature outlet mill dari DCS sebesar 60,3 °C, sedangkan temperature rata-rata pada coal pipe hasil *dirty air* test sebesar 57,7 °C (139,9 °F). Hasil pengujian fineness pulverizer F sesuai Tabel 7, fineness lolos ayakan 200 mesh dari sampel hasil isokinetic coal sampling pada coal pipe 1, 2, 3 dan 4 secara urut sebesar 76,57, 72,25, 82,07 dan 82,82 (% wt) dengan nilai rerata 78,43 % wt. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kehalusan batubara yang dihasilkan oleh pulverizer F masih dalam kondisi baik.

Pada beberapa coal pipe dari pulverizer A hingga F, terjadi *under and over velocity* dan terjadi penurunan temperatur dari keluaran mill yang terbaca di DCS dengan temperatur pada coal pipe yang masih lebih rendah dari rekomendasi 65 °C untuk penggunaan batubara dengan *volatile matter* 31,66 – 33,23% (POWER, 2017). Dengan melakukan penyesuaian orifice atau meningkatkan temperatur keluaran mill hingga mencapai titik optimum dapat menyeimbangkan kecepatan aliran campuran udara dan bahan bakar dari tiap pulverizer. Peningkatan temperatur keluaran mill dapat mengurangi kemungkinan terbentuknya gumpalan pada serbuk batubara sehingga meningkatkan distribusi keseimbangan penyebaran serbuk batubara pada aliran bahan bakar.

4. PENUTUP

Hasil pengujian *dirty air* pada coal pipe keluaran pulverizer D, C dan A menunjukkan beberapa coal pipe masih mengalami turbulensi yang menyebabkan pembacaan *dirty air velocity* tidak akurat. Lokasi tapping pengujian pada pulverizer tersebut direkomendasikan untuk dipindahkan dengan jarak lima kali diameter pipa ke arah *upstream* menjauhi lokasi hambatan seperti belokan pada jalur pipa. Sedangkan pada hasil pengujian *dirty air* pada coal pipe keluaran pulverizer F, E dan B menunjukkan hasil yang baik dengan kecepatan aliran udara dan bahan bakar pada tiap coal pipe relative seragam. Temperatur keluaran mill pada pulverizer A, B, C, D, E dan F menunjukkan nilai yang lebih rendah dari rekomendasi untuk PLTU batubara yang menggunakan batubara jenis lignite yaitu 65 °C. Karena pada unit pembangkit PLTU yang diuji tidak terdapat orifice pada tiap coal pipe maka disarankan untuk meningkatkan temperatur keluaran mill diatas 65°C untuk membantu keseimbangan laju alir keluaran batubara dari tiap pulverizer. Hasil pemeriksaan ukuran serbuk batubara pada tiap pulverizer menggunakan isokinetic sampling menunjukkan hasil yang masih cukup baik dengan rerata persentase batubara yang lolos ayakan 200 mesh untuk pulverizer A, B, C, D, E dan F adalah 82.12, 83.24, 73.96, 79.13, 68.14 and 78.43 wt%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PT PLN (Persero) yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ASME. (1969). *Coal Pulverizer—PTC 4.2*. ASME.
- ASME. (2010). *Performance Monitoring Guidelines for Power Plants—PTC PM - 2010*. ASME.
- ASTM. (2007). *ASTM D-197-Standard Test Method for Sampling and Fineness Test of Pulverized Coal*. ASTM.
- Brown, O., & McClellan, A. (2017, September 5). *Combustion, Reliability, and Heat Rate Improvements Through Mill Performance and Applying the Essentials*. ASME 2017 Power Conference Joint With ICOPE-17 collocated with the ASME 2017 11th International Conference on Energy Sustainability, the ASME 2017 15th International Conference on Fuel Cell Science, Engineering and Technology, and the ASME 2017 Nuclear Forum. <https://doi.org/10.1115/POWER-ICOPE2017-3087>
- EPRI. (1998). *Heat Rate Improvement Reference Manual* (TR-109546). EPRI.
- Li, Q., & Yao, G. (2017). Improved coal combustion optimization model based on load balance and coal qualities. *Energy*, 132, 204–212. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.068>
- Nugroho, B. A., & Ichsani, D. (2019). Experimental study: The effect of the variation of the mill air fuel ratio on fineness in the pulverizer of the 600 MW Indonesian steam power plant. *AIP Conference Proceedings*, 2187(1), 020016. <https://doi.org/10.1063/1.5138271>
- POWER. (2010, October 7). Pulverized Coal Pipe Testing and Balancing. *POWER Magazine*. <https://www.powermag.com/pulverized-coal-pipe-testing-and-balancing/>
- POWER. (2011, December 1). Pulverizers 101: Part III. *POWER Magazine*. <https://www.powermag.com/pulverizers-101-part-iii/>
- POWER. (2017, December 1). Improve Power Plant Heat Rate with a Pulverizer Performance Program. *POWER Magazine*. <https://www.powermag.com/improve-power-plant-heat-rate-with-a-pulverizer-performance-program/>
- Prasetyo, I. D., & Prabowo. (2019). Experimental study effect of classifier pulverizer opening setting variation on fineness production passed 200 mesh. *AIP Conference Proceedings*, 2187(1), 020014. <https://doi.org/10.1063/1.5138269>
- Schreiber, M., Haug, M., Starke, M., Kock, R., & Turoni, F. (2008). Online measurement of coal fineness and air-fuel ratio inside the coal pipe. *PowerGen International*, 2–4.
- Storm, D. & Consultant. (2009). *Applying the Fundamentals for Best Heat Rate*

- Performance of Pulverized Coal Fueled Boilers.*
- Wiatros-Motyka, M. (2016). Optimising fuel flow in pulverised coal and biomass-fired boilers. *IEA Clean Coal Centre; Report, CCC/263; IEA: London, UK.*
- Żymelka, P., Nabagło, D., Janda, T., & Madejski, P. (2017). Online monitoring system of air distribution in pulverized coal-fired boilers based on numerical modeling. *Archives of Thermodynamics, Vol. 38, 4, 109–125.* <https://doi.org/10.1515/aoter-2017-0027>