

Analisis Proses Dewatering Konsentrat Mineral pada PT. Freeport Indonesia

Novriany Amaliyah^{1*}

¹Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa
*novriany@unhas.ac.id

Abstract: *This study aims to compare the performance of the rotary dryer and VPA in the mineral concentrate dewatering process at PT. Freeport Indonesia. Comparison of the power requirements needed for the slurry is carried out to determine the effectiveness and energy requirements of the inputs. Data collection was carried out on rotary dryer and VPA units related to drying rate, temperature of each zone, amount of fuel used, moisture content and drying capacity. The results shows that the dryer requires power with an average of 157.32 kW for every 1 ton of slurry, and the VPA machine only uses power with an average of 0.163 kW per 1 ton of slurry. The power consumption of the dryer is much greater than the VPA with an average of 157.32 kW/Ton, while the VPA only uses 0.163 kW/Ton of energy. Moisture content produced by the rotary dryer is drier with a wet weight of 8.5% while the VPA produces a final moisture content of 9.53% wet weight.*

Keywords: *Dewatering; Dryer; Vertical Pressure Airblow; Filter Press.*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja mesin *rotary dryer* dan VPA pada proses dewatering konsentrat mineral pada PT. Freeport Indonesia. Perbandingan kebutuhan daya yang diperlukan untuk mengeringkan slurry pada kedua mesin tersebut dilakukan guna mengetahui keefektifan dan kebutuhan energi inputnya. Pengambilan data dilakukan pada unit mesin *rotary dryer* dan VPA terkait laju pengeringan, temperatur setiap zona, total bahan bakar yang digunakan, kadar air yang terkandung serta kapasitas dryer. Hasil yang didapatkan yaitu dryer membutuhkan daya dengan rata-rata 157,32 kW untuk mengeringkan setiap 1 ton slurry, Dewatering dan mesin VPA hanya menggunakan daya dengan rata-rata 0,163 kW dalam setiap 1 ton slurry. Penggunaan daya pada dryer jauh lebih besar dari VPA dengan rata-rata 157,32 kW/Ton, sedangkan pada VPA hanya menggunakan energi sebesar 0,163 kW/Ton. Kadar air yang dihasilkan oleh rotary dryer lebih kering yaitu dengan berat basah 8,5% sedangkan pada VPA menghasilkan kadar air akhir berat basah 9,53%.

Kata kunci : Pengeringan; Pengering; VPA; Filter Tekan.

I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki sumber daya alam yang sangat melimpah, baik itu sumber daya yang dapat diperbaharui maupun sumber daya yang tidak dapat diperbaharui. Salah satu sumber daya alam tidak dapat diperbaharui yang dikenal dunia seperti mineral tambang yang terdapat di Timika, Provinsi Papua. Mineral tambang berupa konsentrat mengandung tembaga, perak, dan emas ini, diolah dan dimanfaatkan oleh PT Freeport Indonesia yang berafiliasi dari Freeport-McMoRan Copper & Gold Inc., sebagai perusahaan penghasil bahan tambang.

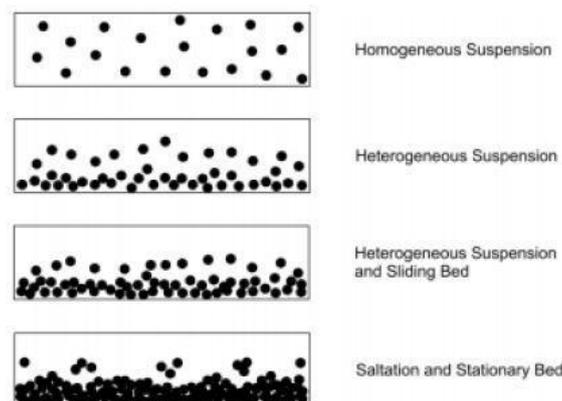
Proses pengolahan konsentrat sangat dibutuhkan dengan tujuan meningkatkan mutu dan kualitas konsentrat. Proses pengolahan konsentrat dimulai dari penghancuran dan penghalusan bijih tambang, kemudian konsentrat tersebut memasuki proses flotasi dimana terjadi pemisahan bahan konsentrat utama dengan material lain yang berupa zat pengotor (tailing). Konsentrat yang telah melalui proses flotasi yang diistilahkan sebagai lumpur konsentrat atau slurry kemudian diantarkan ke jobsite DWP (Dewatering Plant), Pelabuhan Amamapare melalui pipa sehingga dapat dilakukan pengolahan lanjutan. Pengolahan lanjutan yang dimaksudkan adalah mengolah mineral tembaga dengan cara pengeringan konsentrat atau yang lebih dikenal dengan istilah dewatering. Proses dewatering konsentrat slurry dilakukan dengan maksud menghambat laju kerusakan konsentrat serta lebih mudah untuk pendistribusian konsentrat melalui pengapalan.

PT. Freeport Indonesia sampai saat ini memiliki 2 jenis mesin untuk proses *dewatering slurry*, yaitu *Rotary Dryer* dan *VPA (Vertical Pressure Airblow)*. Mesin *dryer* menggunakan campuran bahan bakar berupa diesel dan oli bekas dalam prosesnya untuk mengeringkan konsentrat slurry melalui proses pembakaran dengan temperatur yang dapat mencapai 1500^o F. Sedangkan mesin *VPA* hanya

menggunakan kompresi membran dan kompresi udara untuk mengeringkan konsentrat. Perbandingan kinerja dari mesin *rotary dryer* dan *VPA filter press* sangat dibutuhkan guna mengetahui keefektifan dari kedua mesin tersebut bagi PT. Freeport Indonesia

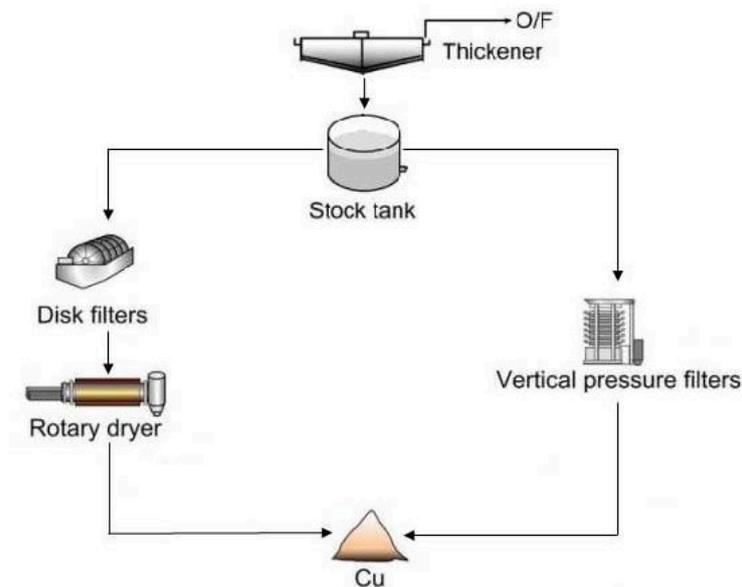
Slurry atau lumpur konsentrat merupakan campuran antara solid dan liquid yang memiliki karakteristik fisik yang bergantung pada ukuran, konsentrasi dan distribusi dari partikel solid, turbulensi, kecepatan dan viskositas dari liquid yang membawanya. Aliran slurry berbeda dengan aliran fluida pada umumnya; liquid dengan viskositas rendah dapat mengalir dengan aliran laminar maupun turbulen, namun pada *slurry*, campuran solid dan liquid harus mengalir dengan kecepatan diatas nilai kritis untuk menghindari pengendapan pada partikel solid. Gambar 1 menunjukkan pola aliran pada slurry serta hubungan antara konsentrasi padatan dan kecepatan aliran slurry. Aliran pada *slurry* dapat dibagi menjadi dua yakni *homogeneous* dan *heterogeneous*. Pada aliran *homogeneous slurry*, partikel solid terdistribusi secara merata diantara aliran liquid. Partikel yang terkandung di dalam *slurry* tidak mengendap atau menumpuk pada bagian dasar sepanjang *slurry* mengalir. Sedangkan aliran *heterogeneous* memiliki karakteristik yakni konsentrasi partikel solid tidak terdistribusi secara merata pada bidang horizontal dan memiliki *gradient* jika ditempatkan pada bidang vertikal [1].

Pengeringan secara termal dan pengkondisian *slurry* dengan metode dehidrasi mekanik umumnya menggunakan proses *dewatering* untuk *slurry* dalam jumlah besar. Namun konsumsi energi yang tinggi dan masalah polusi yang tinggi secara signifikan akan menghambat efisiensi pengaplikasian proses *dewatering*. Pengolahan *slurry* dengan biaya tinggi dalam hal tenaga kerja, energi dan pengolahan pada unit masih menjadi tantangan utama dalam pengolahan air limbahnya. Selain aspek ekonomi, pabrik pengolahan air limbah juga selalu berhadapan dengan pengolahan *slurry* secara berkelanjutan karena perdebatan lingkungan menurut hukum dan peraturan saat ini. Salah satu strategi yang digunakan untuk mengurangi volume *slurry* dengan kadar air sebanyak 60-85% dari berat *slurry*. Terlepas dari air yang secara gravitasi akan terpisah dengan mudah dari *slurry*, air yang terikat dengan *slurry* melibatkan hubungan antara air dan permukaan konsentrat membutuhkan lebih banyak energi untuk melepaskan kadar air dari konsentrat *slurry* [2].



Gambar 1. Pola aliran *slurry* [1]

Dewatering merupakan suatu proses pengeringan yang bertujuan untuk mengendalikan kadar air yang terkandung di dalam *slurry* (lumpur konsentrat) tanpa melakukan evaporasi. Mengendalikan kadar air pada wet *slurry* sangat penting untuk menurunkan volume dari *slurry*, biaya distribusi *slurry*, dan meningkatkan nilai kalor dari *slurry*. Mechanical *dewatering* merupakan teknologi yang umumnya digunakan sebagai perlakuan utama setelah *slurry* mendapatkan pengkondisian fisik, kimiawi, atau panas. Terdapat beberapa metode *slurry dewatering* seperti filter vakum, *belt presses*, *filters presses*, *thermal drying*, *centrifugal press*, dll. [3]



Gambar 2. Metode *dewatering* (filtrasi, dan pengeringan secara termal) [5]

Dewatering membutuhkan 2 langkah yaitu pengambilan dalam jumlah besar, dan pengentalan. Pada umumnya moisture yang terkandung dapat mencapai 93%-98% setelah pengambilan. Teknologi yang digunakan untuk mengambil adalah seperti Flotasi, Flokulasi, atau Sedimentasi secara gravitasi. Meskipun slurry akan menggumpal pada saat pengentalan, hal ini bias diatasi dengan sentrifugasi dan filtrasi. Sebagai tambahan, pengentalan menggunakan energi yang lebih dibandingkan pada saat pengambilan [4]. Beberapa proses dewatering juga dilakukan dengan berbagai tahap dalam konsentrator, sehingga dapat *feeding* untuk proses selanjutnya. Sebagian besar kadar air pada awalnya dipisahkan dengan cara thickening atau proses pengentalan, dimana thickening pulp menambahkan sekitar 55-65% dari berat awal, kemudian hingga 80% dari kadar air dapat dipisahkan pada tahap ini. Proses filtrasi pada *thickening pulp* kemudian menghasilkan *cake moisture* diantara 80-90% padat, yang dimana akan memerlukan pengeringan termal untuk memproduksi produk akhir dengan berat sekitar 91% padat [5].

VPA (Vertical Pressure Airblow) Filter Press adalah salah satu mesin dengan proses pengeringan atau pengurangan kadar air pada konsentrat *slurry* dimana menggunakan udara yang dikompresi sebagai media pengeringan. Udara tersebut melewati *slurry* melalui pori-pori lalu mendorong air keluar dari dalam kandungan *slurry*. Desain pada *filter press* terdiri dari FPH (*Fixed Press Head*) berbentuk persegi panjang dan dipasangkan dengan Silinder Hidrolik, dan ujungnya terdapat MPH (*Moving Press Head*) yang bergerak dengan menggunakan 4 buah Silinder Hidrolik yang bekerja secara parallel. Pada mesin ini terdapat 54 membran yang tersusun secara horizontal, di antara membran terdapat *cloth* yang digunakan untuk membantu proses filter. *Slurry* yang dimasukkan di antara membran disebut *cake* [6].

Alat pengering lainnya yang umum digunakan pada industry adalah *Rotary Dryer*. *Rotary Dryer* biasanya terdiri dari komponen silinder baja ringan dengan diameter 0,3-5 m dan panjang antar 5-90 m. Padatan atau konsentrat dimasukkan melalui pengolahan dari pengering dan bergerak sepanjang tabung. Sebuah *rotary dryer* memiliki dua fungsi umum yaitu transport dan pemanasan. Lama waktu konsentrat dalam melewati tahapan pengeringan di sepanjang dryer bergantung kepada beberapa mekanisme: elevasi produk padatan saat melewati *rotary dryer*, partikel bergerak karena aliran udara, atau pada partikel yang terakumulasi di dasar pengering, dan akhirnya pergerakan partikel bertemu akibat tabrakan dengan partikel lain [7].

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja mesin *rotary dryer* dan *VPA* pada proses *dewatering* konsentrat mineral.

II. METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada unit *Dewatering Plant*, Portsite Amamapare PT. Freeport Indonesia, Timika. Spesifikasi terkait *Rotary Dryer* diperoleh dari *Manual and Operational Book Dryer*. Kemudian dilakukan pengambilan data dibantu operator dari *Rotary Dryer* terkait laju pengeringan, temperatur setiap zona, total bahan bakar yang digunakan, kadar air yang terkandung serta kapasitas dryer. Spesifikasi terkait *VPA Filter Press* diperoleh dari *Manual and Operational Book VPA* (Metso). Kemudian dilakukan pengambilan data dibantu operator *VPA* terkait *cycle time*, *press feed weight*, tekanan pada hidrolis, tekanan udara kompresor, debit aliran *slurry*, kadar air dan kapasitas *VPA*. *Slurry* yang masuk ke dalam perangkat *dewatering* dengan kadar air basah 65%.

Unit *dewatering* menggunakan *VPA Filter Press 2040-54* dengan ukuran tinggi 4,58 m, panjang 4,25 m dan berat (kosong) 72 Ton. Unit *VPA* ditunjukkan pada gambar 1 dan spesifikasi *VPA* pada tabel 1.



Gambar 3. *VPA Filter Press*

Tabel 1. Spesifikasi *VPA*

Data Proses	
Suplai daya	460 VAC, 60 Hz
Pengaplikasian	Konsentrat Cu
Kapasitas DMT (Dry Metric Ton)	100 ton/h
Densitas slurry (feeding)	1.79 ton/m ³
Hasil moisture	9.5 %w/w
Densitas cake (kering)	2.4 kg/l
Kompresi Udara	

Tekanan udara	6.5 bar
Aliran udara	0.5 Nm ³ /m ² /min
Rekomendasi aliran udara/filter	105 Nm ³ /min udara bebas
Tekanan membran	8 bar

Unit rotary dryer yang digunakan ditunjukkan pada gambar 4 dengan spesifikasi pada tabel 2.



Gambar 4. Unit rotary dryer

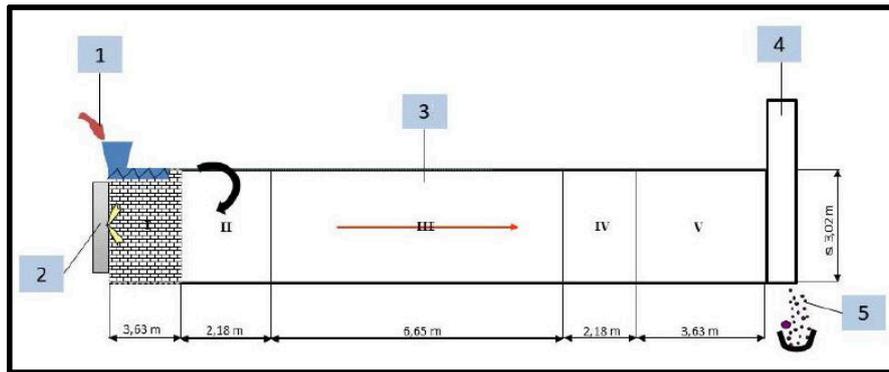
Tabel 2. Spesifikasi sistem dryer

Suplai Daya	250 hp
Putaran motor	1785 rpm
Bahan bakar	Diesel (100%), atau Diesel (55%)+Oli bekas (45%)
Tegangan	460 V
Kuat Arus	262 A
Hasil moisture	9% w/w

Energi Termal	30 GJ/h (8.33 x 10 ³ kW)	
Suplai Tekanan	Tekanan bahan bakar	1034 kPa
	Atomizing air	690 kPa
	Udara pembakaran	4.5 kPa
Tekanan dalam burner	Fuel oil pressure	550 kPa
	Atomizing air	550 kPa
	Udara pembakaran	3.5 kPa
	Pilot gas pressure	2.6 kPa

Slurry yang digunakan pada penelitian ini merupakan campuran cairan-padatan yang diolah menjadi konsentrat kering dan mengandung konsentrat emas, tembaga dan perak. *Slurry* memiliki beberapa karakteristik yang dapat diidentifikasi seperti berat partikel, ukuran partikel, konsentrasi dan densitas dari partikel.

Proses rotary dryer yang digunakan untuk proses *dewatering slurry* PT. Freeport Indonesia dimulai dari Input *slurry* (1) yang sebelumnya melewati vacuum filter disk yang kemudian dihantarkan oleh *belt conveyor* menuju *dryer*. *Slurry* yang telah masuk ke dalam *drum rotary dryer* kemudian dikeringkan secara berputar melewati keseluruhan drum pada *dryer*. Gambaran umum penelitian pada *dryer* ditunjukkan pada gambar 5, dimulai dari pemasukan *slurry* ke dalam drum yang berputar hingga *slurry* yang telah melalui proses *dewatering* pada *dryer*:



Gambar 5. Proses Dewatering Rotary Dryer

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengambilan data selama 10 hari pada unit *Dewatering Rotary Dryer* ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data pada *Rotary Dryer* ($\phi = 65\%$)

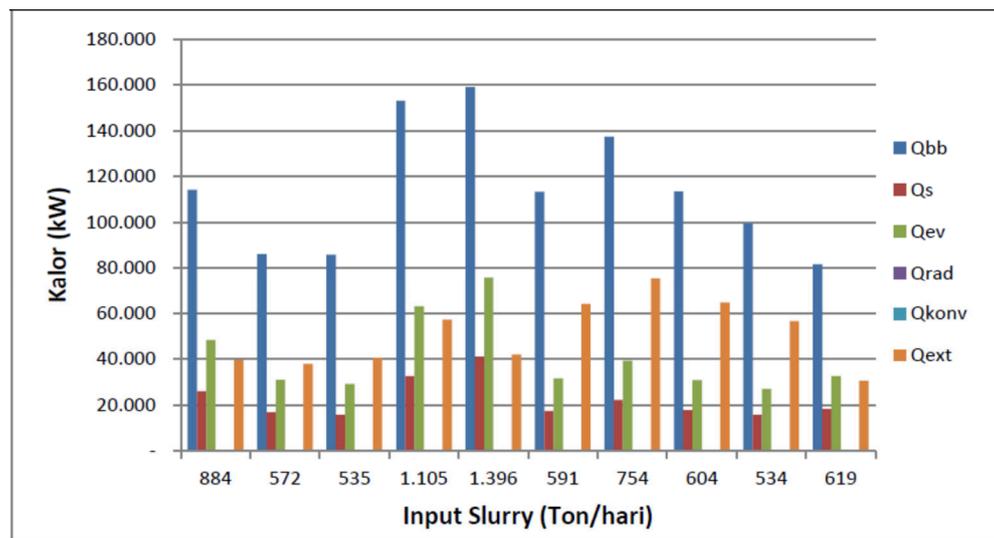
\dot{m}_m (Ton)	ϕ_{out} (%)	V_s (m ² /s)	Bahan Bakar			
			\dot{m}_g (kg/s)	V_{diesel} (L)	V_{oli} (L)	V_{tot} (L)
883	8.69	0.0046	2.75	5849.33	1321.67	7171
571	8.59	0.0049	2.12	2840	1302.33	4142.33
534	8.65	0.0053	2.01	2821.33	-	2821.33
1111	9.55	0.0058	3.06	6589	862	7451
1395	8.64	0.0061	3.83	7737.67	1639.33	9376.33
518	8.49	0.0067	2.71	2196.67	335	2531.67
753	8.28	0.0074	3.40	2947.67	1495	4442.67
603	8.12	0.0079	2.69	3181.33	294.33	3475.67
388	8.08	0.0079	2.37	2015.67	236	2251.67
618	8.40	0.0084	1.95	2604.33	347	2951.33

Tabel 4. Distribusi energi pada rotary dryer

\dot{m}_m (Ton/hari)	ϕ_{out} (%)	ϕ_{out} (%)	Q_{bb} (kW)	Q_s (kW)	Q_{ev} (kW)	Q_{rad} (kW)	Q_{konv} (kW)	Q_{ext} (kW)	η
883	15.01	8.69	114196	25989	48230	5.94	512.88	39458	65.45
571	15.29	8.59	8602	16815	30805	5.94	496.93	37858	55.99
534	14.75	8.65	85774	15723	29039	5.94	477.81	40498	52.77
1111	14.32	9.07	153090	32507	62935	5.94	456.75	57185	62.65
1395	13.92	8.64	159112	41052	75750	5.94	445.38	41860	73.69
518	14.82	8.49	113370	17394	31535	5.94	429.97	64010	43.54
753	14.31	8.28	137354	22171	39196	5.94	404.37	75577	44.98
603	14.70	8.12	113512	17755	30793	5.94	391.36	64576	43.12
388	14.47	8.08	99624	15694	27080	5.94	391.36	56425	43.33
618	15.30	8.40	81709	18196	32627	5.94	379.54	30501	62.67

Data *dryer* yang berputar dengan kecepatan konstan 4 rpm yang menggunakan pembakaran dengan bahan bakar diesel dan oli bekas tersebut diambil selama 10 hari pengoperasian dimana data-data yang telah dikumpulkan seperti massa awal dan akhir bahan, kadar air yang terkandung setelah pengeringan, serta temperatur permukaan drum dryer yang terbagi atas 5 daerah/zona. Untuk mengetahui efisiensi termal dari mesin *rotary dryer*, diperlukan perhitungan nilai kalor, yakni kalor bahan bakar, kalor untuk menaikkan temperatur *slurry*, kalor untuk menguapkan air yang terkandung

dalam *slurry*, serta kalor yang terdapat pada dinding atau permukaan drum dryer selama pengeringan.

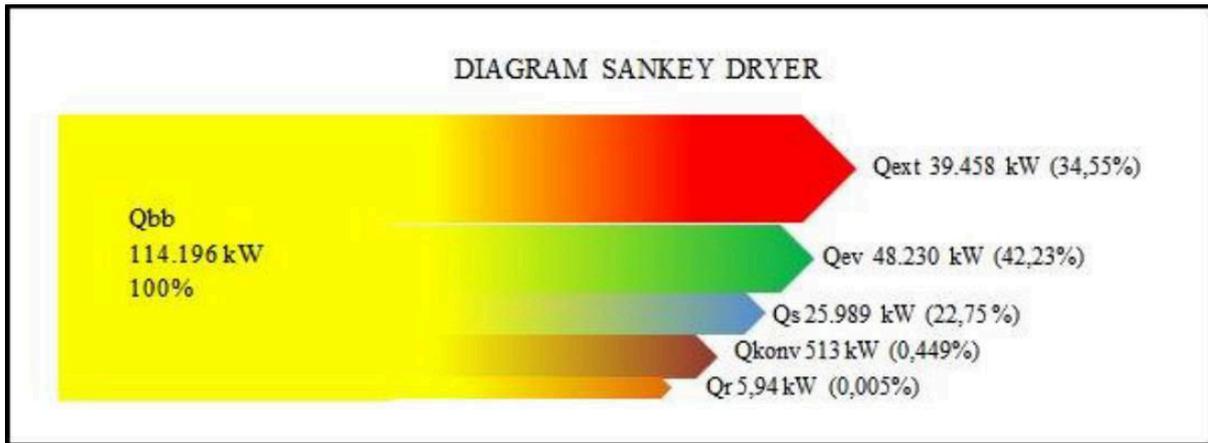


Gambar 6. Distribusi Energi pada Dryer

Untuk mendapatkan kalor input mesin yaitu kalor bahan bakar, diperlukan nilai dari laju bahan bakar (mg) yang digunakan dan Low Heating Value (LHV) atau nilai pembakaran dari campuran Diesel dan oli bekas, dimana total penggunaan selama satu hari berkisar 2.000–7.000 Liter, bergantung pada kebutuhan jumlah suplai input slurry ke dryer selama proses dewatering. Kalor digunakan untuk menaikkan temperatur slurry yang telah didapatkan dengan mengetahui massa slurry masuk sistem, kalor jenis slurry ($C_p\text{Slurry}$) yakni campuran tembaga dan air, serta selisih temperatur slurry saat berada di dalam drum dryer dan temperatur lingkungan ($32\text{ }^\circ\text{C}$), maka didapatkan nilai kalor yang berkisar 15.000 sampai dengan 41.000 kW dengan rata-rata 22.329,58 kW, dengan input massa slurry pada hari ke-5 yang memiliki nilai kalor terbesar dengan nilai 41.052 kW sedangkan input massa slurry pada hari ke-9 memiliki nilai kalor paling rendah dengan nilai 15.694 kW. Sedangkan kalor untuk menguapkan air yang terkandung dalam slurry didapatkan dengan mengetahui laju penguapan air (kg/s) dan nilai kalor uap air maka didapatkan nilai kalor penguapan dengan rata-rata 40.803,4 kW. Diketahui pula bahwa nilai kalor tertinggi berada pada hari ke-5 dengan nilai kalor 75.750 kW, dipengaruhi oleh besarnya jumlah input massa slurry.

Kalor yang didapatkan pada permukaan-permukaan drum dryer dibagi menjadi kalor konveksi, dan kalor radiasi. Kalor konveksi pada permukaan dibagi atas beberapa zona dengan panjang yang berbeda-beda yang dibagi dari zona I sampai dengan zona V dengan temperatur yang telah didapatkan dan kemudian dikonversi menjadi satuan Kelvin, serta dengan mengetahui koefisien kalor konveksi yang didapatkan dengan mengetahui Bilangan Reynold, Bilangan Nusselt, konduktivitas thermal dryer, serta luas permukaan pada setiap zona pada dryer, maka didapatkan nilai kalor konveksi total berkisar 300 sampai dengan 500 kW. Sementara kalor radiasi dihitung pada setiap zona dryer, dengan menggunakan rumus konstanta Stefan Boltzman, emisivitas bahan baja, serta temperatur permukaan dan temperatur lingkungan. Maka didapatkan hasil kalor radiasi dengan total 5,94 kW.

Hasil yang didapatkan dari pengolahan data kalor pada dryer kemudian dapat ditampilkan dengan diagram sankey sebagai berikut:



Gambar 7. Diagram Sankey pada Dryer

Dari diagram sankey dapat diketahui bahwa Kalor input mesin untuk mengoperasikan mesin dryer yaitu kalor bahan bakar yang didapatkan selama penelitian didapatkan kalor sebesar 114.196 kW dimana kalor-kalor tersebut digunakan untuk menaikkan temperatur slurry sebesar 22,75%, menguapkan air pada slurry sebesar 42,23 %, dan kalor losses yaitu seperti kalor yang terdapat pada permukaan (kalor konveksi) sebesar 0,449% dan kalor radiasi 0,005%. Energi yang tersisa pada rotary dryer bernilai 34,55% tersebut dianggap sebagai kalor yang keluar pada daerah exhaust dan tertinggal pada setiap daerah pada permukaan dryer. Energi dan efisiensi pengeringan tergantung pada kadar air, meskipun nilai absolutnya berbeda secara signifikan.

Di awal periode pengeringan, sebagian besar energi input digunakan untuk pemanasan material. Saat pengeringan berlangsung, panas sensibel dalam zat pengering digunakan untuk penguapan air yang tidak terikat di dekat permukaan material. Ketika air ini diuapkan, efisiensi pengeringan seketika turun dengan cepat karena sebagian besar panas sekarang digunakan untuk memanaskan lapisan permukaan yang sudah kering dan penghilangan air mikro-kapiler [8]. Pemanfaatan rotary dryer pada industri pengeringan padi dilaporkan dapat menghasilkan efisiensi thermal sekitar 38%, dengan penurunan kelembaban berkisar 14.5%–12% [9].

3.2. VPA Filter Press

Siklus VPA dimulai dari pemasukan slurry ke dalam mesin di antara setiap membran kemudian setelah slurry telah memenuhi media membran, hidrolik bergerak dengan menekan membran hingga terkunci. Selanjutnya dilakukan kompresi udara dengan suplai dari Kompresor dengan tekanan yang besar untuk memaksa air keluar dari kandungan slurry. Data slurry didapatkan dari hasil harian PT. Freeport Indonesia selama 10 hari dilampirkan pada tabel 5.

Tabel 5. Data input slurry pada VPA Filter Press

\dot{m}_{in} (Ton/hari)	ϕ_{out} (%)
2072.70	9.94
2157.90	9.74
1744.20	9.47
2339.50	9.63
1524.50	9.43
1899.70	9.47
2316.90	9.12
2509.90	9.45
2439	9.32
2429.88	9.74

Suplai Udara yang digunakan pada proses dewatering VPA didapatkan dari Kompresor yang selanjutnya dimasukkan ke dalam tangki, sebelum udara masuk ke dalam VPA. Suplai udara kompresor

yang didapatkan selama penelitian. Suplai udara tersebut kemudian dibandingkan dengan *horsepower* spesifikasi kompresor sebesar 300 hp, maka didapatkan *horsepower* tangki dan daya yang digunakan pada VPA.

Daya output yang digunakan selama satu siklus pengeringan slurry pada mesin VPA secara umum terbagi menjadi 2 proses, yaitu pengurangan kadar air awal dengan menekan slurry yang terdapat pada setiap celah membran, dan selanjutnya masuk ke dalam proses Air Drying, yaitu slurry yang telah ditekan dengan membran lalu diberikan udara yang terkompresi.

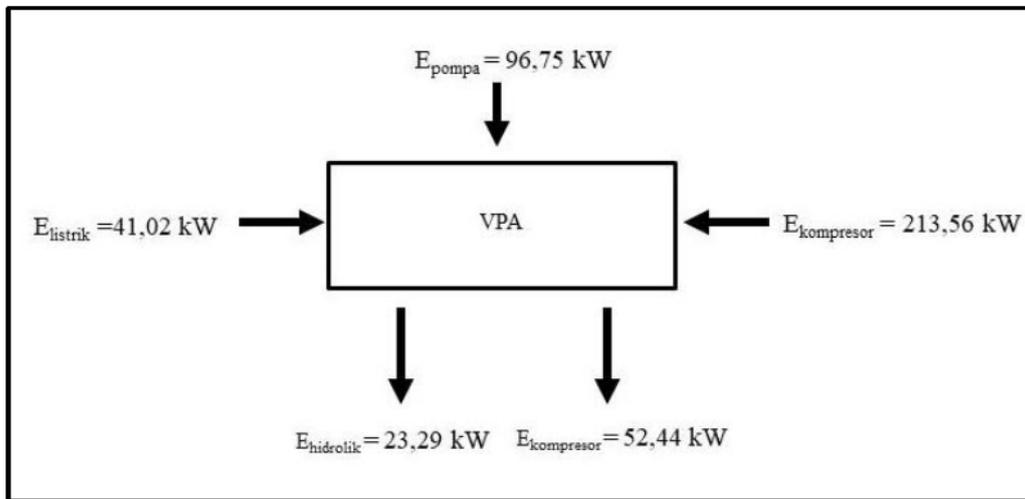
Tabel 6. Daya kompresi per unit membrane dan kompresor udara

Kompresor (bar)	Reservoir (bar)	hp	P _{in} (kW)
8,613	8,544	297,60	221,92
8,750	8,613	295,28	220,19
8,681	8,613	297,62	221,93
8,888	8,681	293,02	218,51
8,613	8,544	297,60	221,92
8,681	8,475	292,86	218,38
8,475	8,268	292,68	218,25
8,613	8,475	295,20	220,13
8,819	8,681	295,31	220,21
8,957	8,819	295,38	220,27

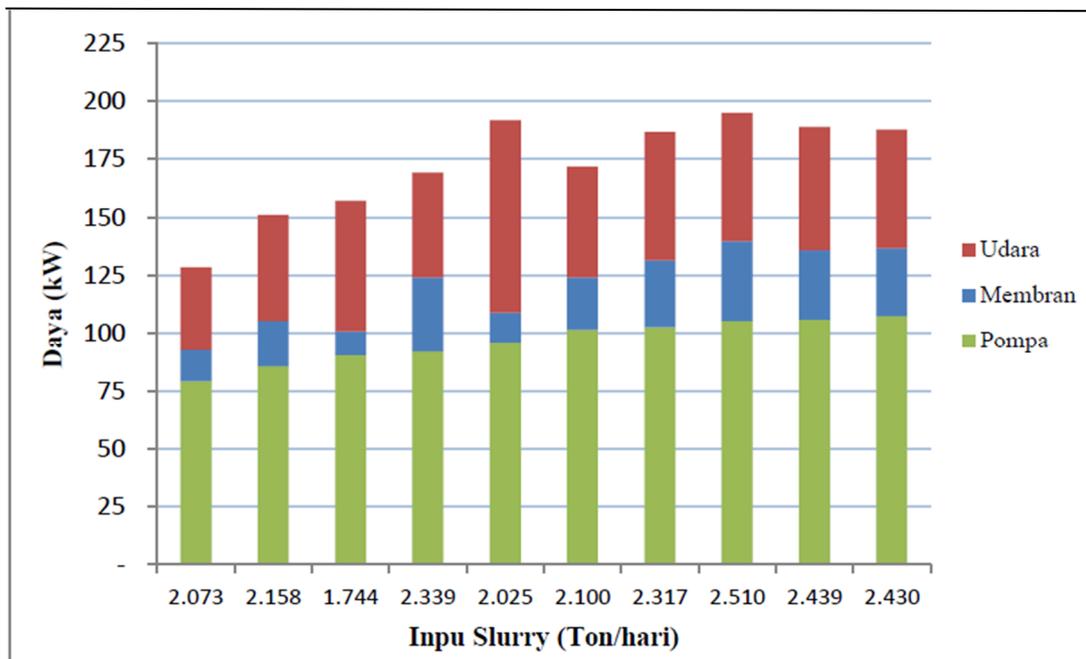
Dari hasil perhitungan didapatkan daya dari Kompresi Membran dan Kompresi udara (*Air Drying*), ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7. Daya kompresi per unit membrane dan kompresi udara

P (kg/m ³)	Q (m ³ /s)	H' (m)	P _{out} kW
1.623	0,107	46,49	79,21
1.696	0,101	50,09	85,58
1.734	0,098	54,27	90,47
1.798	0,094	55,39	92,03
1.886	0,088	59,17	96,34
1.904	0,086	63,12	101,62
1.978	0,083	64,04	102,90
2.011	0,081	66,11	105,50
2.068	0,078	67,23	106,12
2.091	0,077	68,00	107,69



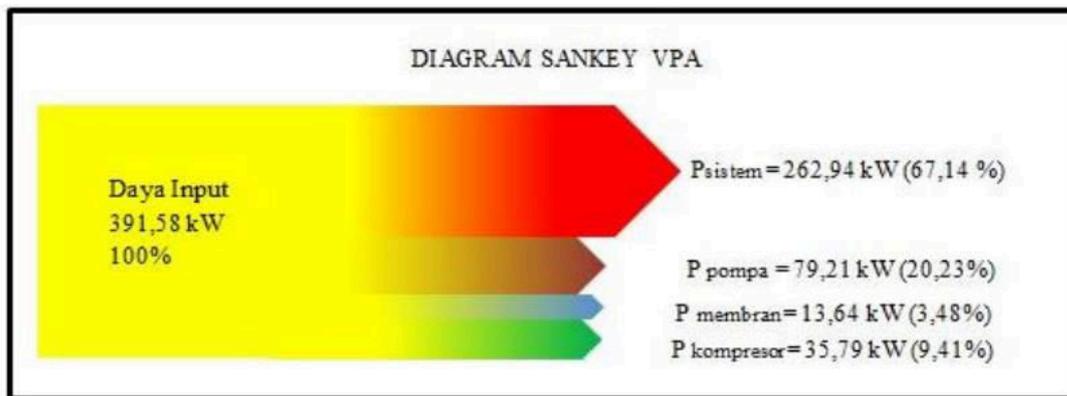
Gambar 8. Keseimbangan energi pada VPA Filter Press



Gambar 9. Daya yang digunakan pada VPA

Pada dewatering dari mesin VPA, pengurangan kadar air terjadi pada proses penguncian membran yang digerakkan oleh hidrolik. Setelah membran terkunci, tekanan udara yang disuplai oleh kompresor melewati reservoir menuju mesin dengan laju aliran berkisar 25-40 nm³/menit. Pada daya kompresi membran yaitu saat membran terkunci rapat, dapat dilihat bahwa sampel penelitian pada hari ke-8 menggunakan daya yang paling tinggi yaitu sebesar 34,39 kW dan menghasilkan kadar air slurry dengan berat basah 56,72% sebelum proses kompresi udara dan sampel penelitian pada hari ke-3 menggunakan daya yang paling rendah yakni sebesar 10,38 kW dan menghasilkan kadar air slurry dengan berat basah 52,43%.

Pada grafik daya kompresi udara setelah membran terkunci rapat, dapat dilihat bahwa sampel penelitian pada hari ke-5 menggunakan daya yang paling tinggi yaitu sebesar 82,74 kW dan menghasilkan kadar air slurry dengan berat basah 9,43% sebelum proses kompresi udara dan sampel penelitian pada hari ke-1 menggunakan daya yang paling rendah yakni sebesar 35,79 kW dan menghasilkan kadar air slurry dengan berat basah 9,94%.



Gambar 10. Diagram Sankey pada VPA

Pada gambar 10 terlihat diagram sankey penggunaan mesin VPA, diketahui daya input pada mesin VPA yaitu sebesar 391,58 kW. Sedangkan pada daya yang digunakan tersebut dapat diketahui penggunaan VPA daya pada pompa input slurry, daya kompresi membran yang berkisar 15-35 kW dengan rata-rata 23,37 kW yang menghasilkan Slurry dengan kadar air 50-60%, kemudian penggunaan pada kompresi udara menggunakan daya dengan rata-rata 52,77 kW dengan kadar air rata-rata 9,53%. Sedangkan daya yang tersisa yaitu sebesar 275,2 kW dianggap tetap di dalam sistem pada mesin VPA. Perbandingan kinerja dari setiap mesin dryer dan VPA ditampilkan pada tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan input, hasil, dan kadar air dari Dryer dan VPA

Dryer				VPA			
\dot{m}_{in} (Ton)	\dot{m}_{out} (Ton)	Φ_{out} (%)	Energi Spesifik (kW/Ton)	\dot{m}_{in} (Ton)	\dot{m}_{out} (Ton)	Φ_{out} (%)	Energi Spesifik (kW/Ton)
883	386,12	8,69	129,22	2.072	931,45	9,94	0,165
571	249,26	8,59	150,46	2.157	965,54	9,74	0,161
534	233,37	8,65	160,38	1.744	775,69	9,47	0,203
1105	487,12	9,07	138,50	2.339	1.044,04	9,63	0,150
1395	609,22	8,64	113,99	2.024	864,40	9,43	0,177
591	257,24	8,49	191,68	2.099	933,69	9,47	0,172
753	326,29	8,28	182,20	2.316	1.022,13	9,12	0,156
603	260,35	8,12	188,03	2.509	1.115,68	9,45	0,146
533	229,91	8,08	186,68	2.439	1.081,06	9,32	0,151
618	268,51	8,40	132,06	2.429	1.087,18	9,74	0,152

Dryer menghasilkan kadar air rata-rata 8,50%, dimana kadar air tersebut lebih rendah dibandingkan dengan mesin VPA dengan kadar air rata-rata yang dihasilkan sebesar 9,53%, walau massa input slurry ke dalam dryer dengan rata-rata 330,74 Ton per hari yang lebih rendah dibandingkan dengan massa input slurry ke dalam VPA dengan rata-rata 1.473,47 Ton per hari. Hal tersebut terjadi karena VPA memiliki kapasitas yang jauh lebih besar dibandingkan dengan dryer, sehingga membuat mesin VPA menghasilkan slurry hasil dewatering dalam jumlah besar. Pada perbandingan energi spesifik, mesin dryer membutuhkan nilai daya (kW) yang lebih besar dalam setiap massa slurry (Ton) pada proses dewatering yang dilakukan selama pengoperasian.

Sangat sedikit studi yang melaporkan tentang efektifitas dari VPA dalam proses dewatering. Metso mineral sebagai produsen VPA telah mengembangkan pressure filter VP04 dibandingkan dengan VPA skala laboratorium dengan menggunakan variasi ukuran chamber (33, 42 and 53 mm) dan variasi konsentrat (dolomite, lead, dan zinc). Hasil penentuan kadar air sisa pada VPA04 menunjukkan kadar air yang lebih tinggi di bagian tengah filter cake dan lebih dekat dengan feed inlet. Hal ini terlihat pada konsentrat dolomite dan mungkin berlaku untuk konsentrat lain. Hasil kepadatan *dry cake* menunjukkan

hilangnya 5-11% antara VPA skala laboratorium dan pengembangan VPA04 [10].

IV. KESIMPULAN

Penggunaan daya pada dryer jauh lebih besar dari VPA dengan rata-rata 157,32 kW/Ton, sedangkan pada VPA hanya menggunakan energi sebesar 0,163 kW/Ton. Walau kadar air yang dihasilkan oleh rotary dryer lebih kering yaitu dengan berat basah 8,5% sedangkan pada VPA menghasilkan kadar air akhir berat basah 9,53%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Albion, K. J., Briens, L., Briens, C., & Berruti, F. (2011). Multiphase Flow Measurement Techniques for Slurry Transport. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 9 (1).
- [2] Yu, G., He, P., Shao, L., & He, P. (2008). Stratification structure of sludge flocs with implications to dewaterability. *Environ. Sci. Technol.*, 7944-7
- [3] Chen, G. (2002). Sludge Dewatering and Drying. *Drying Technology: An International Journal*, 883-916.
- [4] Owende, P., & L., B. (2010). A Review of Technologies for Production, Processing, and Extraction of Biofuels and Co-products. *Biofuels from Microalgae*, 577.
- [5] Wills, B., & Finch, J. (2016). *Will's Mineral Processing Technology*. Dewatering, 417-438.
- [6] Metso, M. I. (2013). *Operation & Maintenance Manual Pressure Filter*. Sweden: Metso Minerals (Sweden) AB.
- [7] Jover, C., & Alastruey, C. (2006). Multivariable Control for an Industrial Rotary Dryer . *Food Control*, 653-659.
- [8] Kudra, T., (2004). Energy Aspects in Drying. *Drying Technology*, 22(5), pp.917-932.
- [9] Firouzi, S., Alizadeh, M.R. and Haghtalab, D., (2017). Energy consumption and rice milling quality upon drying paddy with a newly-designed horizontal rotary dryer. *Energy*, 119, pp.629-636.
- [10] Östman, J., (2015). Evaluation of VPA Filtration Tests to Determine Relevant Scale-up Factors.