

SISTEM PENIMBANGAN *STRATIFIED RANDOM SAMPLING* PADA PENGANGKUTAN BATUBARA PT. ADARO INDONESIA

¹⁾Youngky Yogaswara* dan ²⁾Fiddina Yusufida'ala Fawzy

¹⁾Coal Hauling Supervisor, PT. Adaro Indonesia,

²⁾Data Analyst Supervisor, PT. Adaro Indonesia

*E-mail: youngky.yogaswara@adaro.com

ABSTRAK

PT. Adaro Indonesia merupakan salah satu produsen batubara thermal terbesar di Indonesia dari single site dengan produksi mencapai 56 juta ton per tahun. Pengangkutan batubara dilakukan dari ROM menuju Port Kelanis melalui jalan angkut sepanjang 86 km dengan menggunakan *double trailer* kapasitas 135 ton. Batubara yang diangkut ditimbang dengan jembatan timbang kapasitas 300 ton di KM 28 atau 35. Proses penimbangan 350 *double trailer* ini menimbulkan masalah antrian yang menyebabkan inefisiensi dan Kondisi Tidak Aman. Kajian teknis dilakukan untuk mengatasi masalah antrian trailer ini. Beberapa opsi yang dikaji adalah penggunaan *draught survey*, *belt scale*, *static weighbridge*, *dynamic weighbridge (Weigh-in-Motion)*, dan pendekatan statistik. *Independent surveyor* (Sucofindo) dilibatkan untuk mengkaji beberapa pendekatan statistik yang dapat digunakan, di antaranya: ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*), Regresi *relative density*, regresi trailer/vessel, *moving average*, dan *stratified random sampling*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan data historikal penimbangan dengan *what-if scenario*. Hasil pendekatan statistik akan dibandingkan dengan hasil penimbangan aktual. Dari hasil uji dan analisa, deviasi antara data statistik dengan data penimbangan aktual adalah sebagai berikut: ARIMA 0.25%, Regresi RD 0.33%, Regresi trailer/vessel 0.03%, *Moving average* 0.18%, dan *Stratified random sampling* 0.05%. Metode *stratified random sampling* dipilih karena memiliki deviasi yang kecil dan lebih *applicable* untuk diimplementasikan di lapangan. Sistem *stratified random sampling* mulai diimplementasikan pada bulan April 2023. Penggunaan metode ini berhasil menurunkan waktu menimbang dan antrian hingga 86% sehingga proses pengangkutan batubara lebih efisien dan menghilangkan *unsafe condition*. Monitoring muatan batubara perlu dilakukan secara ketat dan kontinu untuk memastikan keakurasian data hasil penimbangan.

Kata kunci: Penimbangan Batubara, *Random Sampling*, *Coal Hauling*

ABSTRACT

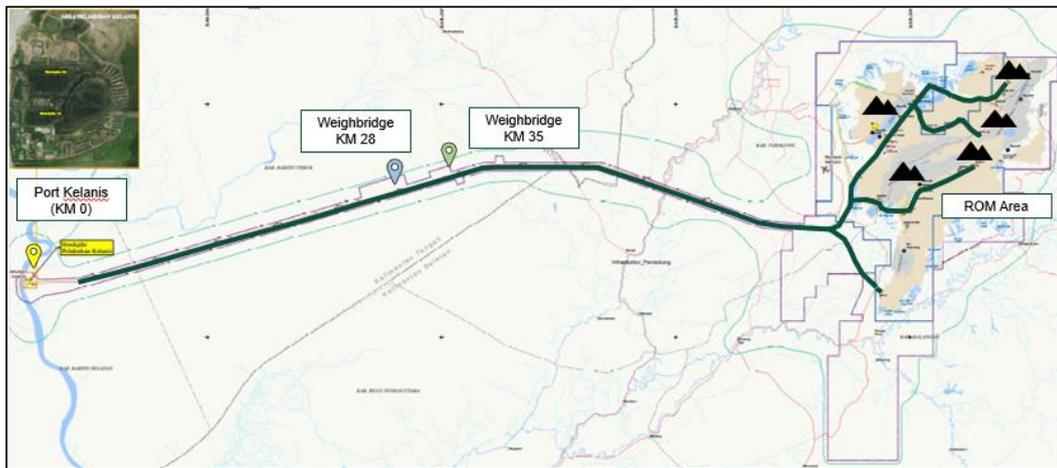
PT. Adaro Indonesia is one of the largest single site-thermal coal producer in Indonesia, producing about 56 million tons per annum. Coal hauled from ROM to Kelanis Port through 86 km haul road using 135 tons double trailer trucks. The coal then weighed using 300 tons - weigh bridges at KM 28 or 35. The weighing process of 350 double trailers causing queuing problem that leads to inefficiency and unsafe condition. A technical study conducted to solve this queuing problem. Some of the options being explored are draught survey, belt scale, static weigh bridge, dynamic weighbridge (Weigh-in-Motion), and statistical approach. Independent surveyor (Sucofindo) is involved to study some of the potential statistical approach, such as: ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average), relative density regression, trailer/vessel regression, moving average, and stratified random sampling. The testing methodology use historical weighing data with what-if scenario. The result of statistical approach then compared to the actual weighing result. The deviation between statistical approach and the actual weighing data are as follow: ARIMA 0.25%, RD regression 0.33%, trailer/vessel regression 0.03%, Moving average 0.18%, and stratified random sampling 0.05%. The stratified random sampling method was chosen due to less deviation and more applicable to implement. The stratified random sampling system implementation started on April 2023. The application of this method succeeds in reducing weighing and queuing time for about 86% that lead to more efficient coal

hauling process and more safe working condition. The payload monitoring needs to be handled tightly to ensure the accuracy of weighing result.

Keywords: Coal weighing, Random sampling, Coal Hauling

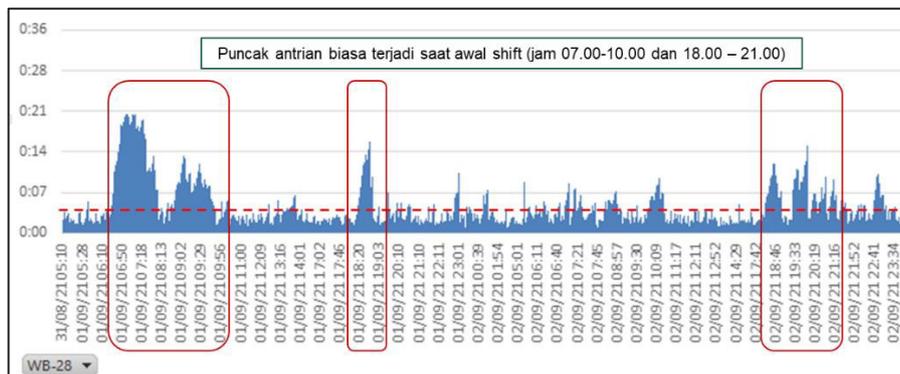
A. PENDAHULUAN

PT. Adaro Indonesia merupakan salah satu produsen batubara thermal terbesar di Indonesia dari single site dengan produksi mencapai 56 juta ton per tahun. Pengangkutan batubara dilakukan dari ROM menuju Port Kelanis melalui jalan angkut sepanjang 86 km dengan menggunakan *double trailer* kapasitas 135 ton. Batubara yang diangkut ditimbang dengan jembatan timbang kapasitas 300 ton di KM 28 atau 35. Untuk mencapai target produksi harian, diperlukan sekitar 350 unit *double trailer* yang beroperasi efektif. Proses penimbangan 350 *double trailer* ini menimbulkan masalah antrian di jembatan timbang, khususnya di awal shift pasca *change shift*.



Gambar 1. Layout Jalan Angkut PT. Adaro Indonesia.

Berdasarkan data RFID (*Radio Frequency Identification*) yang digunakan oleh PT. Adaro Indonesia, rata-rata waktu menimbang termasuk antrian menghabiskan waktu sekitar 4.2 menit per trip. Akan tetapi, saat *peak time* waktu menimbang dan mengantri bisa mencapai 20 menit. Hal ini tentu saja suatu pemborosan (*waste*) yang dapat meningkatkan *cycle time* dan menurunkan produktivitas *hauling*. Selain itu, antrian di jembatan timbang juga dapat menyebabkan Kondisi Tidak Aman, karena antrian trailer di jalan *hauling* menyebabkan penyempitan badan jalan dan berpotensi terjadi *accident*.



Gambar 2. Grafik Sebaran Durasi Menimbang.

Kajian teknis ini dilakukan dengan tujuan:

1. Menurunkan atau menghilangkan waktu mengantri di jembatan timbang.
2. Menguji dan menganalisa metode pengukuran volume lain yang *feasible*.

3. Menganalisa potensi dampak yang akan timbul dari penerapan metode alternatif.

Pendekatan pemecahan masalah yang digunakan adalah pendekatan berbasis resiko, yaitu penggunaan *what-if scenario* dalam pengujian dan analisa. Metode-metode yang diuji belum pernah dilakukan sebelumnya oleh PT. Adaro Indonesia, sehingga tim kajian perlu mempertimbangkan resiko dan dampak yang akan timbul dari pengaplikasian suatu metode terhadap bisnis proses PT. Adaro Indonesia. Aspek-aspek yang menjadi pertimbangan adalah biaya, waktu, kompleksitas dan akurasi data.

B. METODOLOGI PENELITIAN

B.1. Studi Literatur

Landasan teori menggunakan literatur dan referensi ilmiah yang ada. Pengujian dan analisa menggunakan data empiris, yaitu data historikal *weighbridge*, *belt scale*, dan *draught survey* selama tahun 2021 – 2022.

B.2. Studi Banding

Tim kajian juga melakukan studi banding atau *benchmark* ke perusahaan lain untuk mengetahui lebih dalam efektivitas, kendala, kelebihan dan kekurangan suatu metode terhadap operasional. Studi banding dilakukan PT. Adaro Indonesia ke PT. Borneo Indo Bara (*Golden Energy Mines*) terkait teknologi *weigh-in-motion*.

B.3. Expert Review

PT. Adaro Indonesia menggunakan jasa pihak ketiga, yaitu PT. Sucofindo sebagai *independent surveyor*, untuk mendapatkan review dari ahli/*expert* di bidang statistik, sehingga hasil kajian menjadi lebih valid dan dapat diterima oleh semua *stakeholder*.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Beberapa alternatif solusi yang dikaji dalam penelitian ini antara lain *draught survey*, *belt scale*, penambahan jembatan timbang statis, *dynamic weighbridge (Weigh-in-Motion)*, dan Pendekatan statistik.

C.1. Draught Survey

Draught survey adalah sistem perhitungan muatan kapal berdasarkan pembacaan dan pengukuran draft kapal sebelum dan sesudah pemuatan atau pembongkaran dengan memperhitungkan perubahan berat barang-barang di kapal selain muatan yang mungkin terjadi selama operasi pemuatan ataupun pembongkaran.. Hukum dasar perhitungan *draught survey* adalah berat benda yang mengapung di air sama dengan berat air atau cairan yang dipindahkan oleh benda tersebut (Hukum Archimedes).

Di Port Kelanis Adaro, terdapat 2 jetty untuk memuat batubara, jetty Kelanis 1 dan Kelanis 3 (Gambar 3). Ide penggunaan *draught survey* untuk mengukur volume pengangkutan batubara ini muncul dilatarbelakangi oleh perubahan kontraktor pengangkutan per 1 Agustus 2021 yang sebelumnya dilakukan oleh *multiple contractor* (PAMA dan SIS) menjadi *single contractor* (100% SIS). Sehingga, pembayaran jasa pengangkutan batubara yang sebelumnya harus menggunakan jembatan timbang dapat digantikan oleh volume *draught survey*.

Akan tetapi, penggunaan *draught survey* untuk pengukuran volume batubara ini terkendala karena alasan berikut:

1. Batubara yang masuk ke dalam tongkang/*barge* merupakan produk batubara hasil *blending* dari beberapa *raw material coal* yang bersumber dari beberapa pit (Tutupan, Paringin, Wara, dan

Balangan). Batubara yang masuk dapat bersumber dari *stockpile* Kelanis ataupun *bypass (direct dumping)* dari trailer). Sehingga volume batubara yang masuk sulit untuk dipisahkan per pit. Sementara PT. Adaro Indonesia wajib mengirimkan data volume tonase batubara ke MOMS (*Minerba Online Monitoring System*) setiap harinya per pit.

2. Meskipun pengangkutan batubara hanya dilakukan oleh SIS sebagai *single contractor*, akan tetapi proses penambangan masih dilakukan oleh *multiple mining contractor* (SIS, BUMA, dan PPA). Hasil pengukuran tonase pengangkutan batubara per pit ini nantinya akan menjadi komponen perhitungan jasa penambangan OB dan *coal (Pit to ROM)*. Sehingga keakurasian data tonase *hauling* batubara per pit menjadi krusial dan sensitif.



Gambar 3. Jetty Kelanis 1 dan Kelanis 3 di Sungai Barito.

C.2. Belt Scale

Belt scale merupakan suatu jenis timbangan yang digunakan untuk mengukur laju aliran batubara atau untuk mengetahui jumlah batubara yang mengalir pada sistem conveyor (ban berjalan). Pentingnya penggunaan *belt scale* pada sistem conveyor merupakan suatu kebijakan yang tidak bisa diabaikan karena menyangkut efek finansial bagi PT. Adaro Indonesia dan juga sebagai data keluarnya batubara dari pelabuhan/port. Selain itu Penggunaan *belt scale* juga dapat digunakan sebagai referensi kapal besar sebagai *customer*, hal itu dikarenakan kedua belah pihak selain menggunakan *manual draft* sebagai acuan awal, juga karena penggunaan *belt scale* sangat berperan aktif agar pengisian palka kapal lebih cepat dan menghindari *error* (kesalahan pengisian/*over fill in*) karena data bisa diketahui lebih awal dan cepat.



Gambar 4. *Belt scale* di sistem conveyor Port Kelanis.

Untuk tujuan koreksi dan korelasi antara hasil aktual penimbangan di *weighbridge* dengan di *belt scale*, dilakukan perhitungan deviasinya. Terdapat 7 (tujuh) *hopper* di lokasi Port Kelanis yang masing-masing *hopper* tersebut terdapat *belt scale* di *conveyor belt*.

Produk yang ditumpahkan pada tiap *hopper* akan diukur menggunakan *belt scale* sebelum memasuki *stockpile* ataupun sebelum memasuki pemuatan tongkang. Kegiatan pengawasan penimbangan pada *belt scale* tersebut dikontrol melalui *Main Control Room (MCR)* dan hasil penimbangan terus diupdate dan diawasi.

Tabel 1. Perbandingan tonase weighbridge (WB) & belt scale (BS) periode Januari 2021 – Mei 2022

<i>Period</i>	<i>Method</i>	Hp 1	Hp 2	Hp 3	Hp 4	Hp 5	Hp 6	Hp 7	Total
Jan-21	WB	330,755	556,550	352,078	476,815	1,166,781	593,941	655,611	4,132,531
	BS	335,906	547,700	344,616	486,512	1,152,402	581,272	670,020	4,118,426
	%	1.5%	-1.6%	-2.2%	2.0%	-1.2%	-2.2%	2.2%	-0.3%
Feb-21	WB	290,335	571,102	350,494	476,818	981,253	620,931	301,371	3,592,304
	BS	294,007	566,759	341,327	490,241	973,166	606,211	304,950	3,576,660
	%	1.2%	-0.8%	-2.7%	2.7%	-0.8%	-2.4%	1.2%	-0.4%
Mar-21	WB	340,937	589,333	295,718	399,050	1,288,977	697,139	464,894	4,076,048
	BS	336,696	579,918	289,212	410,287	1,285,686	683,493	475,966	4,061,258
	%	-1.3%	-1.6%	-2.2%	2.7%	-0.3%	-2.0%	2.3%	-0.4%
Apr-21	WB	321,267	579,868	507,430	188,320	1,075,436	547,720	492,038	3,712,079
	BS	319,795	611,166	492,017	194,072	1,074,523	527,247	505,129	3,723,948
	%	-0.5%	5.1%	-3.1%	3.0%	-0.1%	-3.9%	2.6%	0.3%
May-21	WB	307,620	581,129	485,633	262,556	1,146,650	623,056	576,212	3,982,856
	BS	311,601	567,119	483,185	265,691	1,133,249	631,855	591,988	3,984,687
	%	1.3%	-2.5%	-0.5%	1.2%	-1.2%	1.4%	2.7%	0.0%
Jun-21	WB	363,592	600,273	449,072	267,259	1,290,048	617,955	704,540	4,292,739
	BS	362,139	594,404	444,210	269,408	1,254,792	641,383	727,893	4,294,229
	%	-0.4%	-1.0%	-1.1%	0.8%	-2.8%	3.7%	3.2%	0.0%
Jul-21	WB	289,108	601,456	418,832	330,691	1,113,487	653,411	700,312	4,107,297
	BS	285,328	587,750	411,431	339,793	1,091,001	673,931	720,367	4,109,600
	%	-1.3%	-2.3%	-1.8%	2.7%	-2.1%	3.0%	2.8%	0.1%
Aug-21	WB	314,117	529,993	423,975	275,742	1,195,390	568,797	630,769	3,938,783
	BS	311,199	507,853	408,404	285,596	1,195,253	579,784	655,292	3,943,381
	%	-0.9%	-4.4%	-3.8%	3.5%	0.0%	1.9%	3.7%	0.1%
Sep-21	WB	308,937	568,692	343,780	313,601	1,207,552	641,751	689,027	4,073,340
	BS	313,476	541,695	330,193	329,483	1,199,628	628,748	736,850	4,080,074
	%	1.4%	-5.0%	-4.1%	4.8%	-0.7%	-2.1%	6.5%	0.2%
Oct-21	WB	344,139	650,581	529,413	460,545	1,264,941	744,392	367,092	4,361,103
	BS	346,975	642,174	512,136	480,129	1,246,052	735,797	390,136	4,353,398
	%	0.8%	-1.3%	-3.4%	4.1%	-1.5%	-1.2%	5.9%	-0.2%
Nov-21	WB	297,117	599,039	324,236	194,487	871,886	544,857	739,886	3,571,508
	BS	299,278	607,122	330,459	197,787	880,235	551,657	747,893	3,614,432
	%	0.7%	1.3%	1.9%	1.7%	0.9%	1.2%	1.1%	1.2%
Dec-21	WB	300,644	534,478	432,640	407,600	838,047	548,198	651,188	3,712,795
	BS	302,052	540,332	438,828	406,533	858,330	556,429	652,660	3,755,164
	%	0.5%	1.1%	1.4%	-0.3%	2.4%	1.5%	0.2%	1.1%
Jan-22	WB	145,797	360,641	377,660	277,613	616,058	372,815	422,959	2,573,543
	BS	146,787	379,364	372,579	267,198	620,203	383,539	427,818	2,597,490
	%	0.7%	4.9%	-1.4%	-3.9%	0.7%	2.8%	1.1%	0.9%
Feb-22	WB	264,647	525,835	494,581	361,667	985,318	612,956	480,717	3,725,721
	BS	278,164	537,949	494,328	352,992	1,008,956	628,456	487,725	3,788,570
	%	4.9%	2.3%	-0.1%	-2.5%	2.3%	2.5%	1.4%	1.7%
Mar-22	WB	315,582	634,709	561,270	442,159	1,181,637	769,694	532,328	4,437,379
	BS	310,896	640,289	556,788	440,658	1,197,809	768,613	535,853	4,450,907

	%	-1.5%	0.9%	-0.8%	-0.3%	1.4%	-0.1%	0.7%	0.3%
Apr-22	WB	304,963	649,815	602,644	438,154	1,256,804	707,222	688,983	4,648,585
	BS	300,193	661,370	605,268	436,259	1,270,704	709,965	692,410	4,676,170
	%	-1.6%	1.7%	0.4%	-0.4%	1.1%	0.4%	0.5%	0.6%
May-22	WB	283,669	627,950	580,403	485,276	1,219,445	732,941	712,177	4,641,861
	BS	280,109	645,620	566,256	483,677	1,240,748	733,648	712,765	4,662,823
	%	-1.3%	2.7%	-2.5%	-0.3%	1.7%	0.1%	0.1%	0.4%

Tabel 2. Perbandingan akumulasi tonase weighbridge (WB) & belt scale (BS) periode 2021 – 2022

Period	Method	Hp 1	Hp 2	Hp 3	Hp 4	Hp 5	Hp 6	Hp 7	Total
YTD 2021	WB	3,808,568	6,962,494	4,913,301	4,053,484	13,440,448	7,402,148	6,972,940	47,553,383
	BS	3,818,450	6,893,992	4,826,016	4,155,534	13,344,317	7,397,807	7,179,144	47,615,259
	%	0.3%	-1.0%	-1.8%	2.5%	-0.7%	-0.1%	2.9%	0.1%
YTD 2022	WB	1,314,658	2,798,950	2,616,558	2,004,869	5,259,262	3,195,628	2,837,164	20,027,089
	BS	1,316,150	2,864,592	2,595,219	1,980,784	5,338,420	3,224,222	2,856,572	20,175,960
	%	0.1%	2.3%	-0.8%	-1.2%	1.5%	0.9%	0.7%	0.7%

Berdasarkan data perbandingan antara tonase *weighbridge* dan *belt scale* yang direkap setiap hari oleh MCR dan *dispatch*, dapat dilihat deviasi yang cukup fluktuatif, dari -4.1% sampai dengan 6.5%. Tentu angka ini cukup besar melebihi batas toleransi wajar sebesar 2%. Walaupun secara akumulasi *Year to date* (YTD) deviasi antara *weighbridge* dan *belt scale* di bawah 2% (0.1% dan 0.7%), akan tetapi apabila di-*breakdown* per *hopper*, ada beberapa *belt scale* di *hopper* dengan deviasi melebihi 2% (*Hopper* 2, 4, dan 7). Selain itu, batubara yang masuk ke *hopper* per jamnya juga sudah dilakukan *blending* atau pencampuran dari beberapa pit. Sehingga penggunaan *belt scale* akan sulit dilakukan karena alasan yang sama dengan *draught survey*.

C.3. Penambahan *Static Weighbridge*

Salah satu alternatif solusi untuk mengurangi antrian trailer menimbang adalah dengan melakukan penambahan jembatan timbang statis. Lokasi jembatan timbang sudah ditetapkan di *haul road* KM 38 (Gambar 5). Penambahan jembatan timbang ini akan menambah biaya sekitar 2,1 milyar per tahun untuk *maintenance* dan operasional dengan kapital awal sebesar 2 milyar rupiah.



Gambar 5. Rencana lokasi jembatan timbang KM 38.

Penambahan satu jembatan timbang, mungkin akan menyelesaikan masalah antrian di awal shift. Akan tetapi, saat kondisi suplai normal, maka akan terjadi inefisiensi dalam proses penimbangan batubara (*over resource*), baik dari sisi *manpower*, konsumsi energi, dan biaya. Sehingga opsi ini menjadi *less preferable*.

C.4. *Dynamic Weighbridge (Weigh-in-Motion)*

Salah satu teknologi terbaru dalam pengukuran tonase adalah teknologi *weigh-in-motion* (WIM). Dengan menggunakan WIM, unit *dump truck* tidak perlu berhenti saat menimbang, sehingga dapat mempercepat waktu menimbang. Teknologi ini sudah digunakan di beberapa industri, seperti Pelabuhan (Jakarta International Container Terminal) dan jalan tol, akan tetapi penggunaan di industri pertambangan masih minim, khususnya batubara. Pada pertambangan mineral, teknologi WIM ini sudah digunakan di PT. Freeport Indonesia dan PT. Nusa Halmahera Mineral. Sementara di pertambangan batubara, satu-satunya perusahaan yang sudah menggunakan WIM ini adalah PT. Borneo Indo Bara (*subsidiary of Golden Energy Mines*). Tim kajian berkesempatan melakukan *sharing session* secara online dengan tim *Digital and Technology* PT. BIB pada tanggal 25 Januari 2022. Pada saat dilakukan *sharing session*, Infrastruktur WIM sedang dalam proses konstruksi dan instalasi. Setelah proses instalasi selesai, tim kajian melakukan kunjungan ke PT. BIB pada tanggal 14-15 Februari 2023 untuk melihat langsung implementasi WIM disana.



Gambar 6. Kunjungan ke site PT. BIB.

Sebagaimana *belt scale*, pengukuran tonase dalam keadaan bergerak seperti WIM memiliki keakurasian yang lebih rendah daripada jembatan timbang statis. Berdasarkan Kepdirjen Perlindungan Konsumen dan Tertib Niaga No.20/2021, batas *variance* hasil penimbangan WIM dibandingkan referensi (statis) adalah $\pm 2.5\%$ (Kelas 5/E). Meskipun WIM sudah dapat dilakukan tera/kalibrasi oleh Balai Standarisasi Metrologi Legal (BSML), akan tetapi dari pihak produsen WIM sendiri memberikan *guarantee* tingkat akurasi sebesar $\pm 2.5\%$. Angka ini cukup tinggi dibandingkan tingkat akurasi jembatan timbang statis yang sebesar $\pm 0.5 - 1\%$.

C.5. Pendekatan Statistik

Kajian pengukuran tonase pengangkutan batubara dengan pendekatan beberapa metode statistik perlu dilakukan dan diharapkan dapat menunjang keselamatan operasional dan mengoptimalkan waktu penimbangan. PT Sucofindo sebagai *independent surveyor* memberikan beberapa rekomendasi metode statistik yang dapat dijadikan acuan dalam pengukuran tonase yang paling efektif dan efisien untuk diterapkan pada kegiatan penimbangan di PT. Adaro Indonesia. Adapun metode-metode tersebut antara lain: Metode ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*), Regresi *relative density*, Regresi terhadap *trip Trailer/Vessel*, *Moving Average* dan *Stratified Random Sampling*.

C.5.1. ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*)

Model ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*) merupakan salah satu pemodelan *time series* yang digunakan dalam metode *forecasting*. Konsep dasar dari model ini adalah penggunaan data historikal univariat yang bertujuan untuk menentukan hubungan statistik yang baik antara variabel yang ingin diramal terhadap nilai historis variabel tersebut, sehingga diperoleh model yang dapat meramalkan nilai variabel dalam beberapa kurun waktu yang akan datang. Model ARIMA terdiri dari tiga langkah dasar, yaitu tahap identifikasi, tahap penaksiran dan pengujian, serta tahap pengujian

diagnostik. Selanjutnya model ARIMA dapat digunakan untuk melakukan peramalan, jika model yang diperoleh memadai. Model umum ARIMA dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$\varphi(\mathbf{B})z_t = \phi(\mathbf{B})\nabla^d z_t = \theta_0 + \theta(\mathbf{B})a_t \quad (1)$$

dimana :

$$\phi(\mathbf{B}) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p \quad (2)$$

$$\theta(\mathbf{B}) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q \quad (3)$$

Persamaan (2) disebut sebagai *autoregressive operator* sedangkan Persamaan (3) adalah *moving average operator* dengan order d sebagai derajat integrasi hingga membentuk model yang stasioner.

C.5.2. Linear Regression

Regresi linier adalah sebuah metode untuk menentukan hubungan dan pengaruh satu atau lebih variabel prediktor/independen (X) terhadap suatu variabel respon/dependen (Y). Pada pengolahan data tonase penimbangan di PT. Adaro Indonesia, dilakukan pemodelan dengan menggunakan metode regresi linier sederhana dengan persamaan berikut.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (4)$$

Dengan β_0 merupakan sebuah konstanta, β_1 adalah koefisien regresi dan ε sebagai *error/residu* yang dihasilkan dari model yang nantinya terbentuk. Metode regresi linier sederhana diterapkan untuk memprediksi nilai tonase penimbangan pada beberapa *raw material* batubara yang dibedakan berdasarkan area penambangan. Terdapat 2 (dua) jenis model regresi yang akan dianalisa, yaitu :

1. Regresi terhadap *relative density*

Density batubara di PT. Adaro Indonesia sangatlah beragam, oleh karena itu metode ini dipertimbangkan menjadi salah satu faktor yang akan dijadikan acuan dalam penentuan tonase penimbangan.

2. Regresi terhadap *trip trailer/vessel*

Banyaknya *trip* yang dihasilkan dari 350 trailer efektif yang beroperasi dalam sehari adalah sekitar 1,200 *trip*. Pemodelan regresi yang dilakukan akan menjadikan banyaknya *trip* sebagai variabel prediktor dari perhitungan tonase penimbangan.

C.5.3. Moving Average

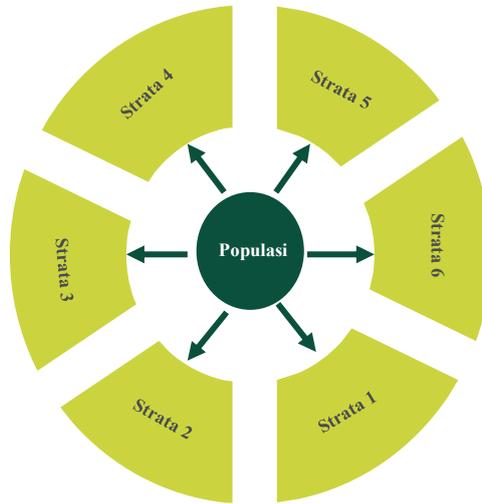
Metode *Moving Average* merupakan suatu metode modifikasi historikal data yang akan digunakan untuk *forecasting*/meramalkan data pada periode yang akan datang. Metode ini merupakan bagian dari metode ARIMA dan memiliki konsep dasar yang sama sesuai dengan Persamaan (3). Metode ini biasanya cocok digunakan untuk melakukan *forecasting* data yang bersifat *random*/acak, artinya data tersebut tidak memiliki *trend*/pola tertentu.

Alternatif solusi menggunakan metode *moving average* dalam perhitungan tonase penimbangan di PT. Adaro Indonesia dilakukan dengan menghitung rata-rata dari 1,000 data penimbangan sebelumnya pada masing-masing area/pit (*moving average 1,000*). Hasil rata-rata data historikal tersebut akan dijadikan acuan tonase penimbangan dari material yang berasal dari *source* area yang sama. Metode ini sangat bergantung pada kesesuaian metode pemuatan/*loading* batubara di area ROM dan kehomogenan kondisi material, dengan kata lain tidak diperbolehkan adanya fluktuasi atau ketidakseragaman kondisi yang terjadi agar data yang dihasilkan tidak bias.

C.5.5. Stratified Random Sampling

Metode *random sampling* adalah sebuah teknik/prosedur pengambilan sampel yang dilakukan secara

acak. Kaidah acak/random ini harus benar-benar dilakukan agar memperoleh hasil perhitungan sampel yang representatif mewakili populasi data yang ada. Dalam metode *stratified random sampling*, pengambilan sampel acak dilakukan secara terstruktur dengan membagi anggota populasi menjadi beberapa sub kelompok yang disebut strata yang kemudian dari masing-masing strata diambil secara acak sampel yang disebut dengan stratum. Adapun pembentukan strata dilakukan menyesuaikan kondisi populasi yang telah distratifikasi sehomogen mungkin dalam hal jenis ataupun karakteristik.



Gambar 7. Ilustrasi *Stratified Random Sampling Technique*.

Ukuran stratum yang akan dijadikan sebagai sampel akan mengikuti kaidah penentuan banyaknya ukuran sampel *Slovin's Formula*, yaitu sebagai berikut.

$$n = \frac{N}{Ne^2 + 1} \tag{5}$$

Pada persamaan (5) menjelaskan bahwa n adalah ukuran sampel (stratum) diperoleh dari pembagian N yang berupa ukuran populasi total dan e sebagai *error (tolerance level)*. Dengan menyesuaikan kondisi operasional di PT. Adaro Indonesia saat ini dan tingkat toleransi sebesar 99% (*error 1%*), maka diperoleh banyaknya sampel/stratum yang harus dilakukan penimbangan dalam sehari adalah sebanyak 274 trip (sekitar 23% dari total populasi trip dalam sehari). Rata-rata sampel tersebut nantinya akan digunakan sebagai tonase penimbangan material sesuai dengan *source area* pada hari berikutnya.

Dari beberapa pendekatan statistik yang telah dilakukan, yaitu Metode ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*), Regresi *relative density*, Regresi terhadap *trip Trailer/Vessel*, *Moving Average* dan *Stratified Random Sampling*, diperoleh komparasi hasil deviasi antara aktual tonase penimbangan dibandingkan dengan tonase hasil pendekatan statistik sebagai berikut.

Tabel 3. Komparasi Hasil Deviasi Aktual Tonase vs Tonase Hasil Pendekatan Statistik

<i>Source</i>	<i>% Diff ARIMA</i>	<i>% Diff Regresi Relative Density</i>	<i>% Diff Regresi Trip Trailer</i>	<i>% Diff Moving Average 1,000</i>	<i>% Diff Stratified Random Sampling</i>
Paringin	0.88%	1.04%	0.03%	0.07%	0.05%
Central & North Tutupan	0.13%	0.18%	0.07%	0.23%	0.19%
South Tutupan	0.48%	1.31%	0.23%	0.07%	0.18%
Wara	0.30%	1.51%	0.53%	0.15%	1.60%
Balangan	1.53%	0.43%	0.13%	0.39%	0.21%
Total	0.25%	0.33%	0.03%	0.18%	0.05%

Berdasarkan hasil pada Tabel 3, diperoleh nilai deviasi terkecil pada metode Regresi *trip trailer/vessel* yaitu sebesar 0.03%. Sementara nilai deviasi tertinggi adalah sebesar 0.33% yaitu pada penggunaan metode Regresi *relative density*. Namun, metode Regresi *trip trailer/vessel* ini sangat rentan terhadap fluktuasi ketidakhomogenan kondisi yang ada. Pada dasarnya, masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan dalam hal kondisi penerapannya. Kondisi tersebut sangat dipengaruhi oleh keadaan dan ketersediaan data yang akan diolah dari masing-masing *source* material yang ada di PT. Adaro Indonesia. Beberapa faktor yang memengaruhi hasil dan pengolahan data, antara lain :

1. Kondisi kegiatan pemuatan/*loading* batubara ke dalam vessel trailer dari tiap *source* harus homogen pada kurun waktu yang panjang.
2. Perubahan cuaca yang secara tidak langsung akan memengaruhi berat jenis batubara.
3. Kondisi lingkungan dan wilayah dari titik pemuatan sampai dengan lokasi penimbangan memiliki jarak yang cukup panjang.

Dari 5 (lima) metode pendekatan statistik yang telah dilakukan, metode *stratified random sampling* merupakan metode yang paling *feasible* diterapkan di PT. Adaro Indonesia karena berbasis kontinuitas *sampling* secara *random* dan menghasilkan data tonase penimbangan yang mewakili populasi data yang ada. Metode *stratified random sampling* menghasilkan data tonase penimbangan yang paling mendekati aktual dengan deviasi hanya sebesar 0.05%, selain itu implementasi metode ini relatif lebih mudah untuk diterapkan di kondisi operasional PT. Adaro Indonesia.

Sistem penimbangan *stratified random sampling* mulai diimplementasikan di PT. Adaro Indonesia pada bulan April 2023. Dengan menggunakan metode ini, jumlah unit sample yang ditimbang per hari hanya sebesar 23% dari total *trip trailer*. Waktu menimbang berhasil turun dari 4.2 menit per *trip* menjadi hanya 0.6 menit per *trip*. Kondisi tidak aman menjadi dapat diminimalisir, karena antrian trailer saat menimbang sudah terkendali. Beberapa catatan yang perlu diperhatikan dalam penerapan metode ini adalah:

1. Proses pemuatan/*loading* batubara dalam vessel trailer agar selalu diusahakan dalam kondisi optimal dan homogen untuk mengurangi tingkat variabilitas yang tinggi dalam hasil penimbangan.
2. Pemilihan sample agar diupayakan selalu mengutamakan prinsip acak/*random* dan proporsional, sehingga hasil *sampling* benar-benar merepresentasikan data keseluruhan.

D. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari kajian ini antara lain:

1. Pendekatan statistik berupa Penimbangan menggunakan metode *Stratified Random Sampling* merupakan metode yang paling *feasible* untuk diimplementasikan di operasional PT. Adaro Indonesia.
2. Rata-rata durasi penimbangan yang semula 4.2 menit/*trip* atau bahkan 20 menit/*trip* saat di awal shift (*peak time*) berhasil diturunkan sebesar 86% menjadi 0.6 menit/*trip*. Sehingga proses pengangkutan batubara menjadi lebih efisien.
3. Pengimplementasian sistem *stratified random sampling* agar mengedepankan prinsip acak dan proporsional dalam pemilihan sampel serta mengupayakan muatan batubara yang optimal dan homogen saat proses pemuatan/*loading*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, kami sampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada PT. Borneo Indo Bara yang telah berkenan melakukan *sharing knowledge* terkait pengaplikasian teknologi WIM di site PT. BIB. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada PT. Sucofindo yang telah membantu proses pengujian dan analisa terkait metode statistik.

DAFTAR PUSTAKA

- Yusuf, Muhammad., Triantoro, Agus., Riswan. (2019). Evaluasi Draught Survey Batubara di Atas Tongkang dan Vessel PT. Adaro Indonesia Site Kelanis. *Jurnal Himasapta* Vol. 04 No. 01 April 29 – 34.
- PT. Superintending Company of Indonesia SBU Batubara. (2022): Laporan Kajian Pengukuran Tonase Produksi Timbangan dan Belt Scale PT. Adaro Indonesia No. 2730/COAL-XI/OPS2/2022. PT. Sucofindo, Jakarta
- Weigh in Motion Accuracy, data diperoleh melalui situs internet: <https://kistler.com/INT/en/weight-enforcement-with-weigh-in-motion-wim/C00000083>. Diakses pada tanggal 12 Juli 2023.
- Marshall, Hamish., Murphy, Glen. (2003): Factors Affecting the Accuracy of Weighbridge Systems, *International Journal of Forest Engineering*, Vol. 14 No. 1 January 2003.
- Box, G.E.P., Gwilym M. Jenkins, G.C. Reinsel, G.M. Ljung. (2016): *Time Series Analysis: Forecasting and Control 5th Edition*, John Wiley & Sons, Inc, New Jersey, 94.
- Draper, Norman R., Harry Smith. (1998): *Applied Regression Analysis 3rd Edition*, John Wiley & Sons, Inc, New York, 20-21.
- Martino, Luca, David Luengo, J. Miguez. (2018): *Independent Random Sampling Methods*, Springer International Publishing, Switzerland, 16-17.

