

**JITS**

Jurnal Ilmiah Teknik dan Sains

E-ISSN: 3025-8871 | <https://jurnal.akipba.ac.id/index.php/JITS>

Sistem Pengolahan Data Berbasis Integrator *Ramsey Micro Tech* 9101 Pada *Belt Scale* Di CC.10 Tambang Air Laya PT Bukit Asam Tbk

(*Ramsey Micro Tech 9101 Integrator Based Data Processing System On Belt Scale At CC.10 Tambang Air Laya Pt Bukit Asam Tbk*)

Apriansyah Zulatama¹, Hendi Purnata²

¹ Akademi Komunitas Industri Pertambangan Bukit Asam, Indonesia

² Politeknik Negeri Cilacap, Indonesia

¹.a.zulatama@akipba.ac.id ².hendipurnata@pnc.ac.id

Penulis Korespondensi: Apriansyah Zulatama | **Email:** a.zulatama@akipba.ac.id

Diterima (*Received*): 29/08/2023 Direvisi (*Revised*): 29/08/2023 Diterima untuk Publikasi (*Accepted*): 29/08/2023

ABSTRAK

Penelitian ini menginvestigasi sistem pengolahan data yang berbasis pada integrator *Ramsey Micro Tech* 9101 dalam konteks penggunaan *Belt Scale* di jalur konveyor CC.10 TAL PT Bukit Asam Tbk. *Belt Scale* adalah alat penting dalam industri pertambangan yang digunakan untuk mengukur berat material batubara yang mengalir di atas konveyor. Sistem ini memungkinkan penimbangan yang akurat dan efisien untuk tujuan produksi dan distribusi. Proses pengolahan data dimulai dari sensor transduser *Load Cell*, yang membaca sinyal input analog yang merepresentasikan berat material batubara yang terukur. Dalam sistem ini, *Speed Sensor* juga berperan dalam memberikan data kecepatan dan jarak lintasan belt konveyor. Data dari sensor tersebut diolah oleh integrator *Ramsey Micro Tech* 9101, yang mengkonversi sinyal analog menjadi data digital yang mencerminkan berat material batubara yang diangkut. Langkah awal dalam sistem pengolahan data melibatkan pengambilan parameter atau data yang diperlukan sebelum dimasukkan ke dalam integrator. Setelah data terkumpul, dilakukan tahap pengolahan data dan pengujian dengan beban statis untuk memastikan ketelitian timbangan. Proses kalibrasi melibatkan *zero calibration* dan *span calibration*, yang membantu memastikan akurasi pengukuran. Penelitian ini membuktikan bahwa integrator *Ramsey Micro Tech* 9101 berperan krusial dalam mengubah sinyal analog menjadi informasi digital yang akurat. Sistem ini memiliki implikasi yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi dan ketelitian dalam pengukuran berat material batubara pada konveyor.

Kata Kunci: sistem pengolahan data, integrator *Ramsey Micro Tech* 9101, *Belt Scale*, *Load Cell*, *Speed Sensor*, kalibrasi, berat material batubara, konveyor, efisiensi pengukuran

ABSTRACT

This study investigates a data processing system based on the integrator *Ramsey Micro Tech* 9101 in the context of using *Belt Scale* on the CC.10 TAL conveyor line of PT Bukit Asam Tbk. *Belt Scale* is a crucial tool in the mining industry utilized to measure the weight of flowing coal material on conveyors. This system enables precise and efficient weighing for production and distribution purposes. The data processing process commences with the *Load Cell* transducer sensor, which reads analog input signals representing the measured weight of the coal material. In this system, the *Speed Sensor* also plays a role in providing speed and distance data of the belt conveyor's path. The data from these sensors is processed by the integrator *Ramsey Micro Tech* 9101, which converts analog signals into digital data reflecting the weight of the transported coal material. The initial step in the data processing system involves collecting necessary parameters or data before inputting them into the integrator. After gathering the data, there is a stage of data processing and static load testing to ensure weighing accuracy. The calibration process includes *zero calibration* and *span calibration*, aiding in ensuring measurement accuracy. This research demonstrates the crucial role of the integrator *Ramsey Micro Tech* 9101 in converting analog signals into accurate digital information. The system has significant implications for enhancing efficiency and accuracy in measuring coal material weight on conveyors.

Keywords: data processing system, integrator *Ramsey Micro Tech* 9101, *Belt Scale*, *Load Cell*, *Speed Sensor*, calibration, coal material weight, conveyor, measurement efficiency

© Author(s) 2023. This is an open access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0).

1. Pendahuluan

Conveyor merupakan alat yang digerakkan oleh motor listrik, diselimiuti oleh belt yang berfungsi untuk mendistribusikan material sesuai dengan kebutuhan (Daijie He et al., 2020). Conveyor yang terpasang di PT Bukit Asam Tbk berfungsi untuk pengangkutan batubara dengan jumlah yang sangat banyak, sehingga membentuk suatu sistem conveyor. Pada sistem conveyor ini, terdapat banyak alat instrumentasi penunjang produktivitas (Yuan Gao et al., (2019), salah satunya adalah measuring device.



Gammar 1. Belt Conveyor Batubara PT. Bukit Asam

Measuring device ini tersusun dari banyak komponen terutama yang pemasangannya terletak pada conveyor yang mengarah ke distribusi konsumen (Piotr Bortnowski et.al., 2022). Salat satu measuring device yang sangat penting untuk mengukur berat keseluruhan batubara yang akan didistribusikan saat conveyor berjalan adalah *Belt Scale*.

Timbangan Digital digunakan untuk melakukan penimbangan terhadap muatan material, Timbangan digital berbeda dari timbangan manual karena mengandalkan prinsip teknologi sel muatan, di mana sel beban elektronik mengukur berat benda dalam kondisi tertentu. Operasi timbangan digital terjadi saat muatan (material) ditimbang, lalu data berat ini diubah menjadi sinyal digital atau elektronik, dan akhirnya ditampilkan dalam bentuk angka digital (Priskila M.N, et.al., 2016).

Belt Scale adalah suatu jenis timbangan yang digunakan untuk mengukur laju aliran material atau untuk mengetahui jumlah material yang mengalir pada sistem conveyor (Cahyanto, 2019). *Belt Scale* berfungsi untuk mengukur secara langsung berat batubara yang sedang didistribusikan di atas belt conveyor, kemudian semua data yang diperoleh akan dicatat oleh integrator dan dikirimkan ke operator MCC. Integrator ini telah dikalibrasi sesuai dengan parameter data record, data teknis yang dibutuhkan, serta menyesuaikan dengan model integrator yang digunakan.



Gambar 2. *Belt Scale* CC.10 TAL

Load Cell adalah transduser yang mengubah beban atau gaya menjadi sinyal listrik (RA Sani, et al. 2018). Komponen utama dari *Load Cell* beroperasi melalui modifikasi energi mekanik, yakni perubahan resistansi. Perubahan ini memicu pergeseran keseimbangan dalam rangkaian jembatan Wheatstone yang telah diberi daya. Perubahan ketidakseimbangan dalam jembatan Wheatstone menghasilkan perbedaan potensial, mengakibatkan output jembatan Wheatstone menciptakan tegangan diferensial yang berkaitan dengan berat benda.



Gambar 3. *Load Cell*

Speed Sensor adalah perangkat yang mampu mengidentifikasi perubahan magnitudo suatu variabel dalam setiap periode waktu (Anggraini, 2019). Untuk *Speed Sensor* yang digunakan pada *Belt Scale* CC.10 TAL adalah *Speed Sensor* Termo Scientific model 60-12 C. *Speed Sensor* ini di desain untuk dipasang langsung pada sebuah pulley atau belt dari conveyor. *Speed Sensor* ini menghasilkan tegangan 3 VAC dan pulsa yang dibangkitkan oleh sebuah generator yang terdapat di dalam *Speed Sensor*.



Gambar 4. *Speed Sensor* Pada CC.10 TAL

Gambar 6. Wiring Load Cell

Ketika menerima input dari *Load Cell*, tegangan output dari keempat *Load Cell* akan dijumlahkan untuk diperoleh tegangan rata – ratanya, sehingga integrator dapat mengeksekusi input tersebut. Dengan proses yang sesuai dari input, integrator akan menghasilkan output berupa tampilan dan tegangan listrik yang menunjukkan total dari berat bersih batubara. Integrator adalah bentuk mikrokomputer yang berperan sebagai pengendali instrumen dan berfungsi sebagai perangkat tampilan informasi untuk total berat material batubara yang mengalir pada conveyor (Budihardja, 2019).



Gambar 5. Integrator Pada CC.10 TAL

Untuk itu, agar dihasilkan sistem kerja pengukuran berat batubara yang terintegrasi dengan baik di atas conveyor yang beroperasi, diperlukan kalibrasi sistem serta sistem kerja pengukuran dari parameter yang telah disediakan.

2. Data dan Metodologi

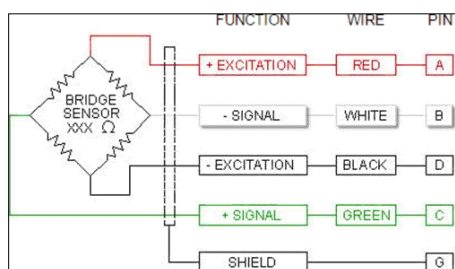
Bagian ini menjelaskan secara rinci tentang penelitian yang dilakukan, meliputi lokasi penelitian, data yang digunakan, dan metodologi yang diterapkan.

2.1. Data dan Lokasi Penelitian

2.1.1 Data Penelitian

a. Karakteristik *Load Cell*

Untuk kekuatan *Load Cell* nya berbeda-beda pada setiap *Belt Scale* nya, tergantung kapasitas dan faktor lainnya. Kekuatan *Load Cell* untuk *Belt Scale* ada 250 lbs, 500 lbs, 1000 lbs, 2000 lbs, dan 2500 lbs.



b. Spesifikasi Teknis *Integrator Ramsey Micro Tech 9101*

Tabel 1. Spesifikasi Teknis *Integrator Ramsey Micro Tech 9101*

Deskripsi	Spesifikasi
Suhu	Penyimpanan: -22° to +158° F (-30° to +70°C). Beroperasi: -4° to +140° F (-20° to +60°C).
Tegangan Nominal	Field mount: 100-240 VAC. Panel mount: 24 VDC+10%, -15% (sumber pemakai).
Frekuensi Nominal	Field mount: 50-60 Hz. Panel mount: Hanya DC.
Konsumsi Daya	50 VA maksimal.
Tampilan	16 kunci tombol, 4 warna LED.
Kabel Sambungan	USB flash driver port.

2.1.2 Lokasi Penelitian

Pengambilan data dilakukan di PT Bukit Asam Tbk. bagian Satuan Kerja *Mine Control Center (MCC)* dan Elektronika yang berlokasi di Tambang Air Laya (TAL). *MCC* sendiri dibagi menjadi 4, Kontrol, Elektronika Daya dan Instrumental, Telekomunikasi dan CCTV.

2.2. Metodologi

Perhitungan pada integrator seperti kecepatan ban pengangkut, faktor kalibrasi, massa satu putaran, dan muatan standar pada timbangan dapat dihitung secara manual menggunakan input semua parameter berdasarkan data teknis dengan persamaan berikut:

2.2.1 Kecepatan Ban Pengangkut

$$V = \frac{P}{Trev} \quad (1)$$

Ket:

V = Kecepatan ban pengangkut

P = Panjang ban pengangkut

Trev = Waktu satu putaran ban pengangkut

2.2.2 Penghitung faktor kalibrasi

$$F = \frac{Q}{(V \times 3,6)}$$

Ket:

F = Faktor kalibrasi

Q = Kapasitas

V = Kecepatan ban pengangkut (3,6)

2.2.3. Massa satu putaran

$$M = P \times F$$

Ket:

M = Massa atau putaran

P = Panjang ban pengangkut

F = Faktor kalibrasi

2.2.4 Perhitungan muatan standar pada timbangan

$$\text{Std} = F \times L_{\text{eff}}$$

Ket:

Std = Muatan standar pada timbangan

F = Faktor kalibrasi

L_{eff} = Panjang lantai timbangan

Untuk pengujian pada beban statis seperti kondisi uji, laju alir, standar ton dan kesalahan ton/kesalahan persentase dapat dihitung dengan live material menggunakan persamaan berikut:

$$\bullet \text{ Kondisi Uji (\%)} = \frac{\text{Muatan Standar (kg)}}{\text{Beban kecepatan (kg)}} \times 100 \quad (5)$$

$$\bullet \text{ Laju Alir (TPH)} = \frac{\text{Kondisi uji (\%)} \times \text{kapasitas belt scale (TPH)}}{100} \quad (6)$$

$$\bullet \text{ Standar Ton} = \frac{\text{laju alir (TPH)}}{10} \quad (7)$$

$$\bullet \text{ Kesalahan (ton)} = \text{Penunjukan totalisator (akhir)} - \text{penunjukan totalisator (awal)} - \text{standart ton} \quad (8)$$

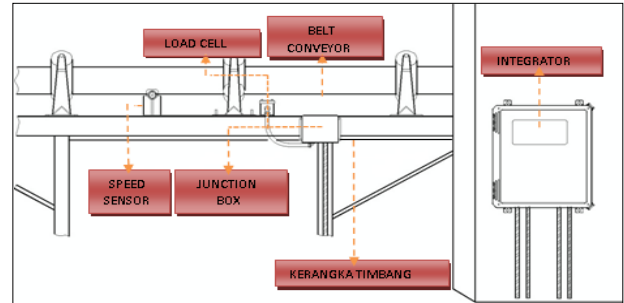
$$\bullet \text{ Kesalahan (\%)} = \frac{\text{kesalahan (ton)} \times 100}{\text{standard (ton)}} \quad (9)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Sistem pengolahan data yang berbasis pada integrator Ramsey Micro Tech 9101 dalam konteks Belt Scale di CC.10 TAL PT Bukit Asam Tbk memiliki peran yang signifikan. Dalam konteks timbangan, khususnya timbangan digital, penting untuk menjalankan proses pengolahan data yang bertujuan untuk mengakses informasi dan data yang dihasilkan dari timbangan tersebut.

Pentingnya pengolahan data tidak hanya berkaitan dengan perolehan informasi, tetapi juga berkaitan dengan tingkat ketelitian yang dimiliki oleh timbangan. Data pengambilan dikumpulkan dari komponen-komponen pada Belt Scale, memerlukan perhatian yang cermat selama

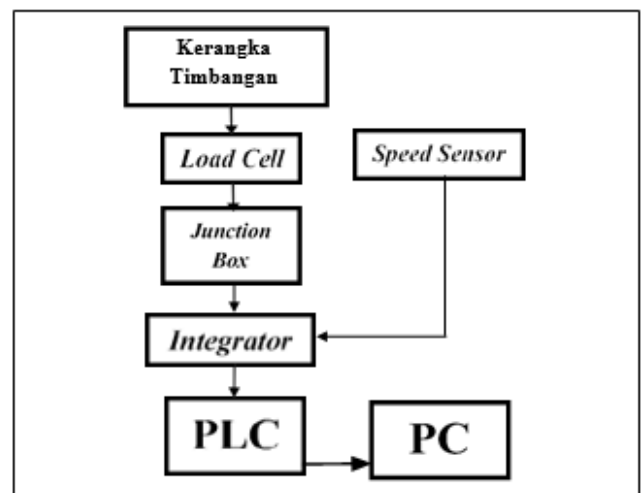
proses pengambilan, pengolahan, hingga pengujian. Dalam pengolahan data, banyak faktor yang berperan, seperti pengaruh air yang tergenang di konveyor, penumpukan debu, dan faktor-faktor lainnya



Gambar 7. Bagian-bagian pada Belt Scale

Dalam proses implementasi sistem pengolahan data, beberapa langkah penting perlu diikuti. Langkah pertama adalah memahami sistem penimbangan Belt Scale, yang terdiri dari komponen-komponen penting dalam proses timbangan. Data parameter yang diperlukan untuk input ke integrator Ramsey Micro Tech 9101 harus diambil dengan cermat. Proses kalibrasi nol (zero calibration) dan kalibrasi jangkauan (span calibration) juga merupakan tahapan yang tidak boleh diabaikan dalam pengolahan data.

Selanjutnya, pengujian dengan beban statis diperlukan untuk menguji kelayakan dan ketelitian timbangan. Seluruh langkah ini membentuk kerangka kerja yang komprehensif untuk menjalankan sistem pengolahan data yang efektif dan menghasilkan hasil yang dapat diandalkan. Integrasi komponen seperti Speed Sensor memungkinkan pengukuran kecepatan saat membawa material, dan data tersebut dapat diintegrasikan dengan integrator untuk mendapatkan total berat material batubara pada konveyor.



Gambar 8. Proses Kerja Belt Scale

3.1. Hasil Penelitian

Dalam timbangan khususnya di *Belt Scale* banyak perhitungan dan data yang harus diambil untuk melakukan kalibrasi. Mulai dari panjang ban pengangkut, kecepatan ban pengangkut, dan lain-lain.

Tabel 2. Hasil Revolusi *Belt Scale*

Keterangan	Waktu	Rata-rata
Revolusi 1	226 sekon	229 sekon
Revolusi 2	227 sekon	
Revolusi 3	238 sekon	
Revolusi 4	230 sekon	
Revolusi 5	210 sekon	
Revolusi 6	228 sekon	
Revolusi 7	229 sekon	
Revolusi 8	239 sekon	
Revolusi 9	235 sekon	
Revolusi 10	228 sekon	

Kecepatan ban pengangkut, faktor kalibrasi, massa satu putaran, dan muatan standar pada timbangan dapat dihitung secara manual berdasarkan data teknis

Tabel 3. Hasil Pengambilan Data Parameter *Belt Scale*

Uraian	Notasi	Satuan	Formula	Hasil
Kapasitas	Q	t/h	Data teknis	6000
Waktu satu putaran conveyor	Trev	s	Data pengukuran	229,083
Panjang conveyor	P	m	Data pengukuran	1292,93
Panjang lantai timbangan efektif	Leff	m	Data pengukuran	4,0065
Kecepatan ban pengangkut	V	m/s	P/Trev	5,645
Faktor kalibrasi	F	kg/m	$Q/V \times 3,6$	295,244
Massa satu putaran	M	kg	$P \times F$	381729,82
Muatan standar pada timbangan	S	Kg	$F \times Leff$	1182,895
	d			0
Time for revolution		s	Trev x jumlah revolution	458

Dari data ini kita bisa mengetahui timbangan kita ketelitiannya berapa dan apakah layak ketelitiannya pada kelas yang telah ditentukan.

Hasil pengujian dengan beban statis pada *Belt Scale* di CC.10 PT Bukit Asam Tbk dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4. Data Hasil Pengujian dengan Beban Statis *Beltscale*

Kondisi Uji	Muatan Standar	Laju alir	Waktu	Pembacaan Totalisator		Penunjukan Totalisator	Standar	Kesalahan	
				Awal	Akhir			Ton	%
95,38	1128,2	5722,78	6	0,6	578,48	577,88	572,27	5,61	0,98
			6		1156	577,52		5,25	0,92
			6		1733,9	577,9		5,63	0,98
			30		2890,2	2889,6	2861,3	28,3	0,99
			30		5779,7	2889,5		28,2	0,98
75,04	887,65	4502,45	6	0,5	449,5	449	450,245	-1,245	-0,27
			6		898,8	449,3		-0,945	-0,20
			6		898,3	448,8		-1,445	-0,32
			30		2248	2247,5	2251,225	-3,725	-0,16
			30		4493,5	2245,5		-5,725	-0,25
50,01	591,65	3001,05	6	0,4	302,9	302,5	300,105	2,395	0,79
			6		605,9	303		2,895	0,96
			6		908,2	302,3		2,195	0,73
			30		1513,8	1513,4	1500,525	12,875	0,85
			30		3025,2	1511,4		10,875	0,72
25,36	300	1521,69	6	0,3	152,95	152,65	152,169	0,481	0,31
			6		305,95	153		0,831	0,54
			6		458,35	152,4		0,231	0,15
			30		764,8	764,5	760,845	3,655	0,48
			30		1528,87	764,07		3,225	0,42

Setelah melakukan pengukuran dan pengujian dengan beban statis maka kita tahu seberapa besar ketelitian yang dimiliki oleh timbangan *Belt Scale* pada CC.10 TAL PT Bukit Asam Tbk. Hasil yang didapat dari pengujian tersebut bisa menunjukkan juga termasuk kelas ketelitian berapa timbangan *Belt Scale* CC.10 tersebut. Hasil yang didapat ialah kesalahan yang paling besar pada kesalahan persentase ialah 0,98 % di pengujian kondisi uji 95,38 % dengan muatan standar 1128,2 kg. Jadi timbangan pada *Belt Scale* CC.10 TAL PT Bukit Asam Tbk adalah termasuk timbangan kelas 2. Untuk data kelas-kelas timbang bisa dilihat pada tabel berikut :

Tabel 5. Data Batas kesalahan yang diizinkan pada timbangan

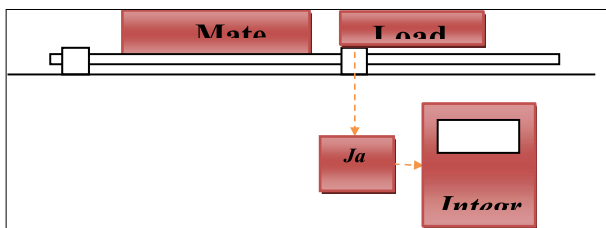
BATAS KESALAHAN YANG DIIZINKAN (MAXIMUM PERMISSIBLE ERROR)			
Kesalahan (error)		Ketidakpastian (Repeatability)	
Kelas Ketelitian	%	Kelas Ketelitian	%
0,5	±0,25	0,5	±0,18
1	±0,50	1	±0,35
2	±0,100	2	±0,70

3.2. Pembahasan

Langkah awal dalam proses penerimaan sinyal analog dimulai dengan sensor transduser, yang dalam hal ini adalah *Load Cell*. Saat material batubara melintasi *Belt Scale*, *Load Cell* aktif dalam membaca sinyal input analog yang merepresentasikan berat material batubara yang

terukur. Saat terjadi beban pada *Load Cell*, regangan dan perubahan resistansi terjadi sebagai hasilnya.

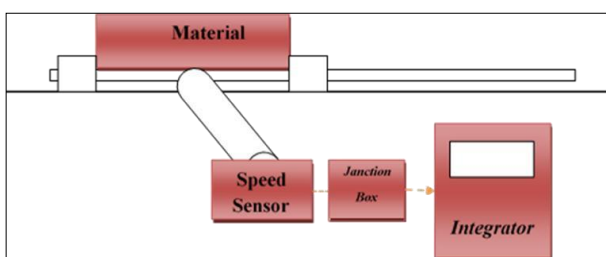
Perubahan resistansi ini mengakibatkan ketidakseimbangan dalam rangkaian, yang menghasilkan konversi ukuran menjadi bentuk listrik. Keempat *Load Cell* yang terpasang paralel mengalami penekanan secara seimbang saat berat material batubara berlalu, menghasilkan sinyal input analog yang menggambarkan beban mekanik. Sinyal ini, setelah melalui perubahan resistansi, mengalir sebagai input analog ke dalam integrator.



Gambar 9. Proses input data analog *Load Cell*

Selain masukan data yang diperoleh melalui *Load Cell*, *Speed Sensor* juga memegang peran penting dalam menyediakan informasi akurat untuk proses pengolahan data digital. Pada *Speed Sensor*, sinyal masukan yang diterima berwujud data tentang kecepatan serta jarak atau panjang lintasan belt conveyor.

Ketika material batubara diangkut oleh belt conveyor, *Speed Sensor* membaca data ini sebagai input analog yang menghasilkan tegangan, yang sebanding dengan laju rotasi objek. Proses perhitungan untuk mengubah data analog dari *Speed Sensor* menjadi data digital melibatkan perhitungan sudut angular pada pulley yang membantu menggambarkan kecepatan



Gambar 10. Proses input data speedsensor pada integrator

4. Kesimpulan

Pada akhirnya, sistem pengolahan data yang terimplementasi berbasis integrator *Ramsey Micro Tech 9101* pada *Belt Scale* di CC.10 TAL PT Bukit Asam Tbk melibatkan serangkaian langkah yang diperlukan. Dalam

proses ini, pengambilan data menjadi langkah awal, di mana parameter-parameter atau data yang diperlukan harus diambil sebelum dimasukkan ke dalam integrator *Ramsey Micro Tech 9101*. Setelah data terkumpul, tahap pengolahan data dan pengujian dengan beban statis diterapkan untuk mengevaluasi ketelitian timbangan.

Sekaligus menjadi titik pusat proses, integrator berperan dalam mengkonversi sinyal analog dari *Load Cell* menjadi data digital yang mencerminkan kinerja *Belt Scale*. Proses kalibrasi, yang terdiri dari zero calibration (menetapkan beban minimum integrator dalam keadaan stand-by atau titik 0) dan *span calibration* (menetapkan beban maksimum yang dapat dibaca), dilakukan untuk menjamin akurasi pengukuran.

Dengan demikian, sistem pengolahan data ini menjadi landasan bagi keseluruhan operasi *Belt Scale*, mengubah sinyal analog menjadi informasi digital yang relevan dan akurat untuk mengukur berat material batubara yang melewati konveyor.

5. Referensi

- Anggraini, Deta. (2019). Sistem Pengolahan Data Pada *Belt Scale*. Program Studi Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang. Laporan akhir tidak diterbitkan
- Budiardja Murtianta. (2019). Penguat Kelas D Dengan Metode Summing Integrator. *Elektrika: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, Vol.11, No. 2 (2019). <http://dx.doi.org/10.26623/elektrika.v11i2.1693>
- Cahyanto. (2019). Studi Kinerja *Belt Scale* pada proses pemuatan batubara. Teknik Elektro. Universitas Islam Kalimantan. Laporan akhir tidak diterbitkan.
- Daijie He, Xiangwei Liu, Bin Zhong. (2020). Sustainable belt conveyor operation by active speed control. *Measurement* 154 (2020) 107458. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107458>
- Piotr Bortnowski, Robert Król, Maksymilian Ozdobaa. (2022). Roller damage detection method based on the measurement of transverse vibrations of the conveyor belt. *Eksplotacja Niezawodnosc, Maintenance and Reliability* Vol. 24, No. 3, 2022. <http://doi.org/10.17531/ein.2022.3.12>
- Priskila M.N. Manage, Elia K. Allo, Bahrun. (2017). Rancang Bangun Timbangan Digital Dengan Kapasitas 20 Kg Berbasis Microcontroller ATmega8535. *JTEK: Jurnal*

Teknik Elektro dan Komputer, vol. 6 No. 1.
<https://doi.org/10.35793/jtek.v6i1.16123>

Ridwan Abdullah Sani, Andy Imanuel Maha (2018).
Konstruksi Timbangan Digital Menggunakan *Load Cell*
Berbasis Arduino Uno Dengan Tampilan Lcd
(Liquid Crystal Display). *Einsten e-journal*, vol 5 No. 2,
2338–1981.
<https://doi.org/10.24114/einstein.v5i2.11837>

Yuan Gao, Tiezhu Qiao, Haitao Zhang, Yi Yang, Yusong Pang,
Hongyan Wei. (2019). A contactless measuring speed
system of belt conveyor based on machine vision and
machine learning. *Measurement*, Vol.139, 127-133.
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.03.030>