



ARTIKEL PENELITIAN

Efisiensi air di *gas conditioning tower* untuk mengurangi kadar SO_2 pada emisi industri semen

Oswaldo Zulbedia Sitohang¹, Suryana¹, Erna Listianingrum¹, Lisendra Marbelia^{2,*}

¹PT. Indocement Tunggal Prakarsa, Bandung, Palimanan, Kec. Gempol, Kabupaten Cirebon, Jawa Barat, 45161, Indonesia

²Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No. 2, Kampus UGM, Yogyakarta, 55281, Yogyakarta

Disubmit 05 Oktober 2022; direvisi 12 Januari 2023; diterima 24 Januari 2023



OBJECTIVES Chemical industries, including cement industries, are facing challenges to improve their process in order to minimize the use of resources and the environmental impacts. One important parameter in cement industries is the SO_2 in its emission. The quality of the emissions is defined by its gas treatment, which is normally done by water spraying in the gas conditioning tower (GCT) and the bag filter before its discharge to the environment through its chimney. On the other hand, it was found that water consumption in GCT is one of the most water consumptive in cement industries. This study aims to analyze the water efficiency using seven tools analysis **METHODS** starting from the problem identification to the making of new standard operating procedure (SOP). **RESULTS** From this analysis, it is known that depending on the SO_2 and SO_3 concentration in the emission and also the raw materials, bag filter inlet temperature could be controlled, and this is further regulated the water consumption in the GCT. **CONCLUSIONS** The results of this study show that the new SOP is able to reduce the water consumption significantly.

KEYWORDS cement; efficiency; emission; gas conditioning tower; SO_2 ; water

TUJUAN Industri kimia dan juga termasuk di dalamnya, industri semen, menghadapi tantangan untuk dapat terus melakukan perbaikan proses untuk melakukan efisiensi sumber daya dan meminimalkan beban pencemaran ke lingkungan. Salah satu hal yang penting di industri semen adalah kandungan SO_2 pada emisinya. Kandungan emisi diten-

tukan oleh proses pengolahan gas, yang dilakukan dengan penyemprotan air di *gas conditioning tower* (GCT) dan bag filter sebelum dikeluarkan ke lingkungan melalui cerobong. Di sisi lain, konsumsi air di GCT merupakan salah satu titik penggunaan air yang tertinggi di industri semen. Studi ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi penggunaan air di GCT **METODE** dengan menggunakan *seven tools* mulai dari analisis masalah hingga pembuatan usulan *standard operating procedure* (SOP) baru. **HASIL** Dari analisis ini didapatkan bahwa tergantung pada kadar SO_2 dan SO_3 di emisi dan bahan baku, maka dapat dilakukan pengendalian temperatur inlet *bag filter* yang selanjutnya akan mengendalikan volume air di GCT. **KESIMPULAN** Hasil pengembangan/inovasi ini menunjukkan bahwa SOP baru dapat menghemat air di GCT secara signifikan.

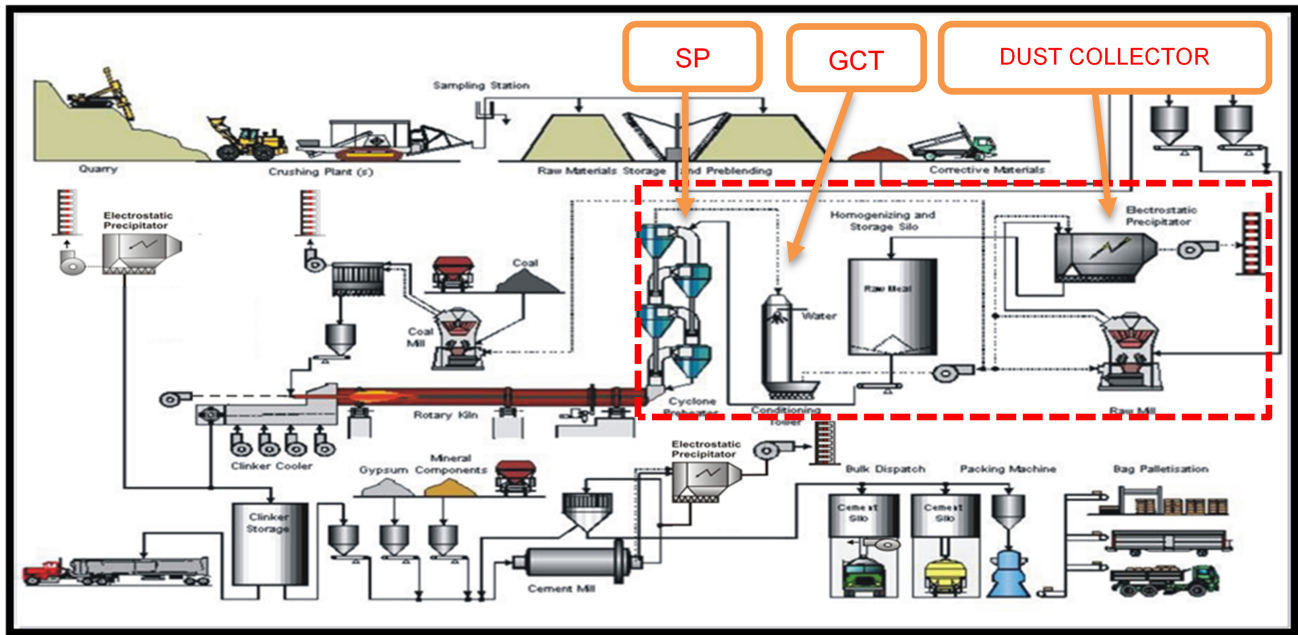
KATA KUNCI air; efisiensi; emisi; gas conditioning tower; SO_2 ; semen

1. PENDAHULUAN

Semen merupakan salah satu komoditas penting dalam kehidupan manusia, untuk memenuhi kebutuhan pembangunan dan infrastruktur. Oleh karena itu, industri semen merupakan salah satu bisnis yang penting. Di sisi lain, industri semen menghadapi beberapa tantangan, seperti tuntutan untuk menurunkan konsumsinya, untuk mengurangi emisi gas CO_2 -nya dan tuntutan lain terkait dengan isu lingkungan dan keberlanjutannya (Schneider 2015; Schneider dkk. 2011). Hal ini mendorong industri semen untuk melakukan berbagai inovasi untuk memperbaiki proses yang sudah ada

Selain konsumsi energi dan emisi gas, penggunaan sumber daya yang lebih efisien (misalnya untuk air) juga didorong di industri semen. Di industri semen, hasil *life cycle analysis* menunjukkan bahwa konsumsi air pada proses produksi semen tidaklah signifikan/penting (Salas dkk. 2016). Satu kajian yang mempelajari penggunaan air di industri menunjukkan bahwa hanya 10% air yang digunakan langsung di pabrik, sedangkan 90% lainnya merupakan konsumsi air virtual (yang digunakan untuk menghasilkan energi/listrik (Hosseinian dan Nezamoleslami 2018). Meskipun

*Korespondensi: lisendra.m@ugm.ac.id



GAMBAR 1. Skema produksi di industri semen dengan bagian yang diberi garis merah adalah salah satu area pemakaian air, yaitu pada GCT, mulai dari SP hingga Dust Collector dan cerobong PT. ITP Unit Palimanan (2000).

penggunaan air di industri semen tidak begitu signifikan, efisiensi penggunaan air tetap didorong mengingat keterbatasan jumlah air di masa sekarang.

Gambar 1 menunjukkan proses industri semen secara umum, mulai dari pengambilan bahan baku (sebelah kiri atas) sampai pada produk hasil (di sebelah kanan bawah). Kegunaan air dalam industri sangatlah penting, dimana air banyak digunakan sebagai pendingin mesin ataupun pengatur temperatur pada proses produksi. Seperti dapat dilihat pada Gambar 1, salah satu penggunaan air pada industri semen adalah pada *Gas Cooling Tower* (GCT) yang berfungsi untuk menurunkan temperatur gas buangan pembakaran pada *Suspension Preheater* (SP) sistem sebelum digunakan lagi pada tahapan proses lainnya yaitu unit *Raw Mill*. Temperatur gas buang dari SP mempunyai suhu 395°C – 435°C, dengan hisapan dari *Id Fan Dust Collector* maka gas panas tersebut akan masuk ke GCT sistem untuk proses penurunan suhu sebelum digunakan pada proses pengeringan material di *Raw Mill* sistem. Dalam pengendaliannya temperatur ini mengacu pada temperatur outlet *Mill* atau inlet *Bag filter*, yang mana setting temperatur ini akan mengatur volum penggunaan air pada GCT secara *auto control* atau pada kondisi tertentu dapat di kendalikan secara manual (PT. ITP Unit Palimanan 2000).

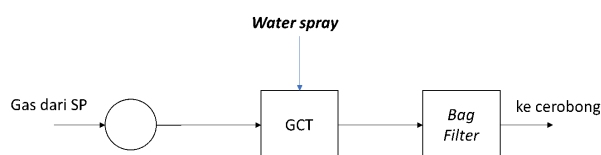
GCT merupakan salah satu alat yang penting di industri semen karena pendinginan di GCT akan mempengaruhi temperatur dan kualitas gas buang yang keluar dari *bag filter* (Raring 1979; Zimwara dkk. 2012). Beberapa kajian dan

penelitian sebelumnya mempelajari modifikasi atau inovasi pada sistem GCT dan *bag filter* untuk mendapatkan proses yang lebih baik (Berube 2011; Haddouche dkk. 2019; Purmono dkk. 2018, 2019), termasuk untuk minimasi penggunaan air dan control kualitas gas buangnya. Sulfur dioksida (SO₂) merupakan salah satu kandungan yang ada di gas buang dari industri semen yang menjadi salah satu parameter penting dalam pengukuran polusi udara, karena SO₂ dapat menyebabkan polusi udara dan hujan asam (Devi dan A.Alakanandana 2017). Kandungan SO₂ pada emisi dipengaruhi oleh kandungan SO₃ pada bahan baku *limestone* dan juga dipengaruhi oleh proses pengolahan gas buang tersebut. Oleh karena itu, selain efisiensi air, studi pada GCT juga bertujuan untuk mempelajari pengaruhnya terhadap kualitas gas buang, terutama untuk kandungan SO₂.

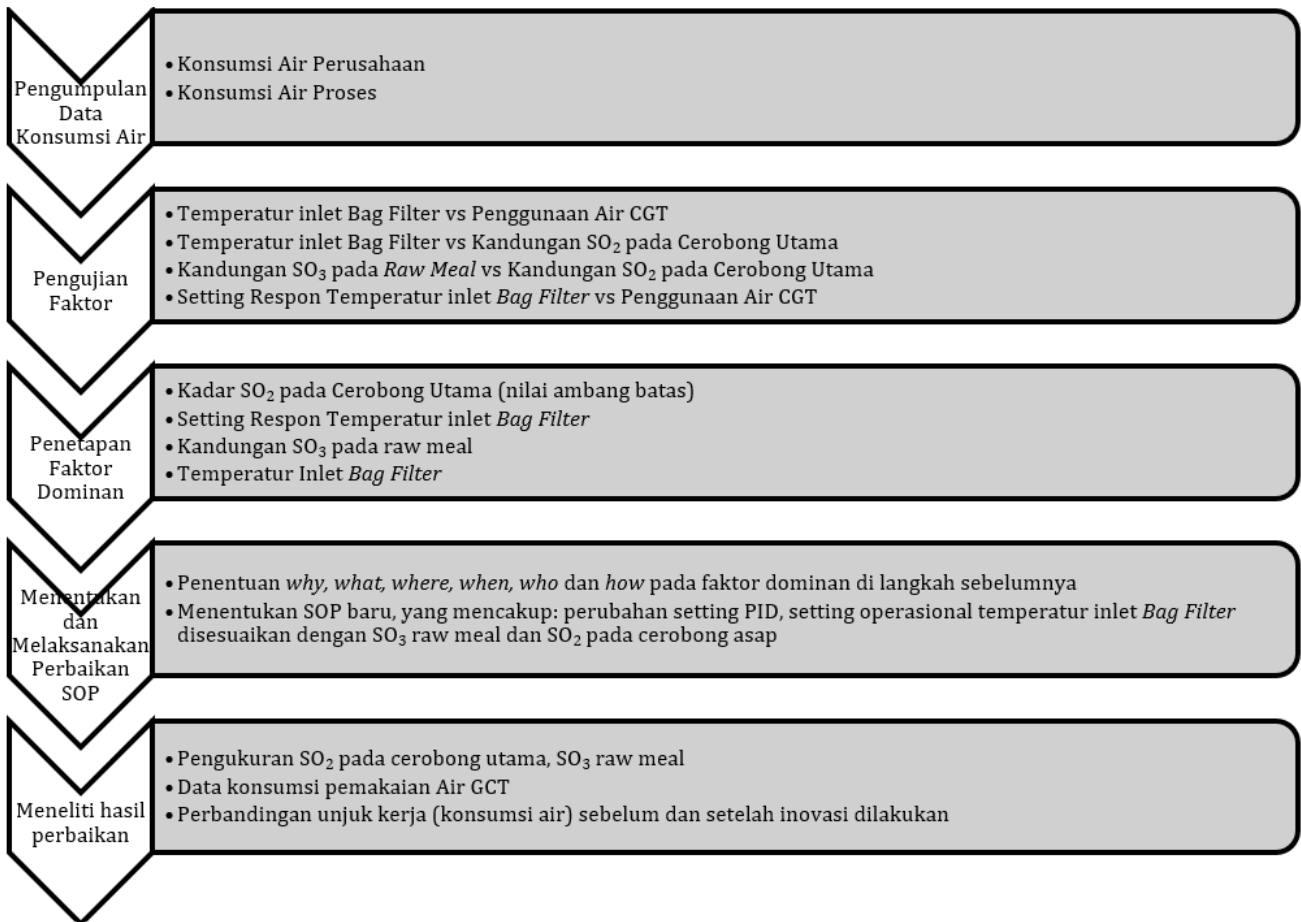
Tujuan dari kajian studi ini adalah untuk mengevaluasi faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi penggunaan air pada GCT dan mendapatkan standar operasi baru dalam pengendalian temperatur inlet *bag filter* dan optimalisasi penggunaan air di GCT.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk mendapatkan optimalisasi dalam parameter operasional pada GCT maka dilakukan penelitian pada proses operasional GCT dan *Bag filter Raw Mill Plant 10* di PT Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. Kajian dilakukan dengan menggunakan metodologi *seven tools* oleh Ishikawa. Metodologi *seven tools* adalah metode yang digunakan dalam *quality control*, bagaimana menyelesaikan persoalan mutu dengan lebih cepat, lebih mudah dan hasilnya terukur dan lebih baik (Antony dkk. 2022). Dalam aplikasi dari *seven tools* ini maka dilakukan secara sistematis yang tersusun pada siklus *Plan Do Check Action* (PDCA) dengan tujuh langkah yaitu menentukan tema dan judul penelitian, menganalisa penyebab, menguji dan menentukan penyebab dominan, membuat rencana dan melaksanakan perbaikan, meneliti hasil, membuat stan-



GAMBAR 2. Blok diagram proses di sekitar GCT.



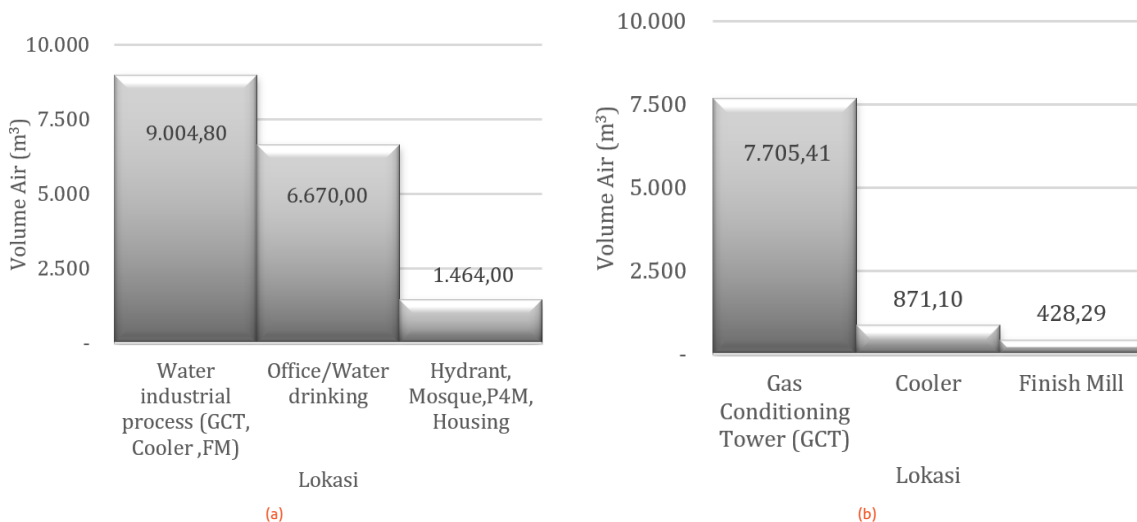
GAMBAR 3. Skema langkah-langkah kajian yang dilakukan dengan Metode Seven Tools.

dar baru, dan menentukan rencana penelitian berikutnya.

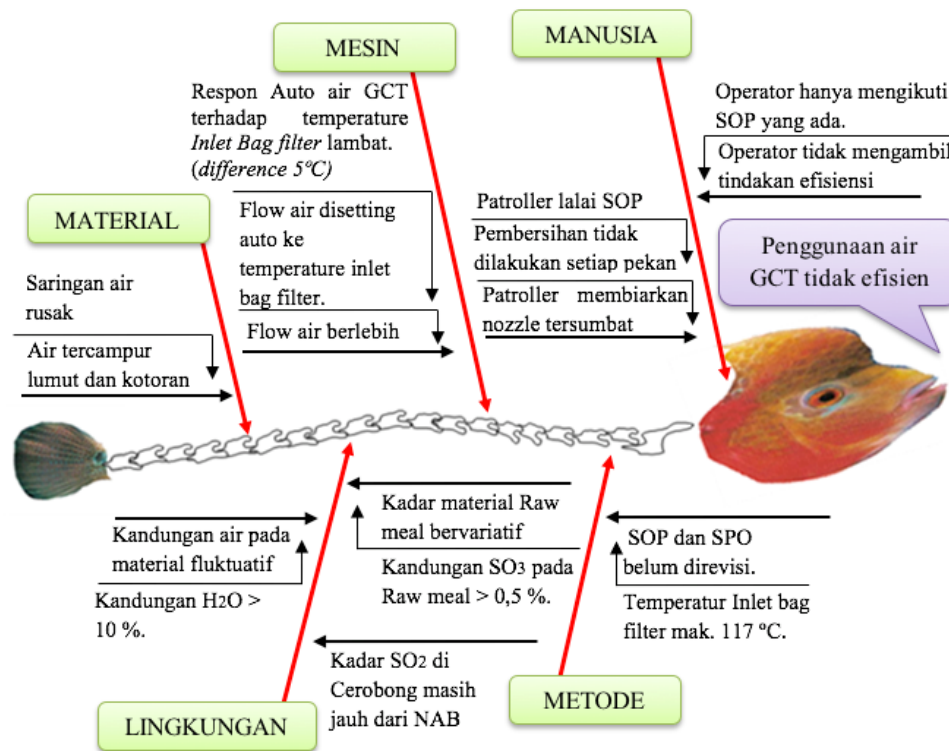
Gambar 2 menunjukkan blok diagram proses di sekitar GCT di PT Indocement Tunggul Prakarsa Tbk. Sedangkan Gambar 3 menunjukkan skema langkah kajian yang dilakukan. Pertama, dilakukan pengumpulan data operasional konsumsi air, pengujian faktor dominan, penentuan *standard operating procedure* (SOP) yang baru, serta melakukan perbaikan dan mengevaluasinya. Dalam pelaksanaan kajian, data akan disajikan dalam bentuk grafik dan juga *cause-effect* dia-

gram.

Data operasional untuk sistem yang digambarkan pada Gambar 2 diambil dari Departemen Produksi PT Indocement Tunggul Prakarsa, pada rentang 1-15 Januari 2020. Data (*water spray*) pada GCT menjadi parameter utama yang ingin diminimasi pada kajian. Data temperatur inlet dari *bag filter*, data kadar SO₂ yang keluar cerobong, kadar SO₃ yang berasal dari bahan bakunya, serta setting respon *Proportional Integral Derivative* (PID) pada sistem control air GCT.



GAMBAR 4. Pengaruh (Histogram (a)) volum penggunaan air di industri semen dan (a) volum penggunaan air di bagian proses di industri semen.



GAMBAR 5. Fish bone diagram Penggunaan air GCT tidak efisien.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data konsumsi air

Sebagai langkah paling awal dalam studi ini adalah pengambilan data untuk menentukan tema ataupun masalah yang dipelajari. Gambar 4 menunjukkan data operasional penggunaan air selama dua minggu (1-15 Januari 2022), dan menunjukkan bahwa penggunaan air pada proses adalah yang paling dominan dibandingkan air yang digunakan di kantor dan juga fasilitas lain (Gambar 4a). Setelah diperiksa lebih mendalam, data menunjukkan bahwa penggunaan air pada

GCT merupakan yang paling dominan dalam penggunaan air, dibandingkan untuk proses lain di cooler dan finish mill (Gambar 4b). Dari data inilah maka ditetapkan masalah yang hendak diselesaikan atau diperbaiki adalah penggunaan air pada GCT.

3.2 Analisis penyebab penggunaan air yang tidak efisien

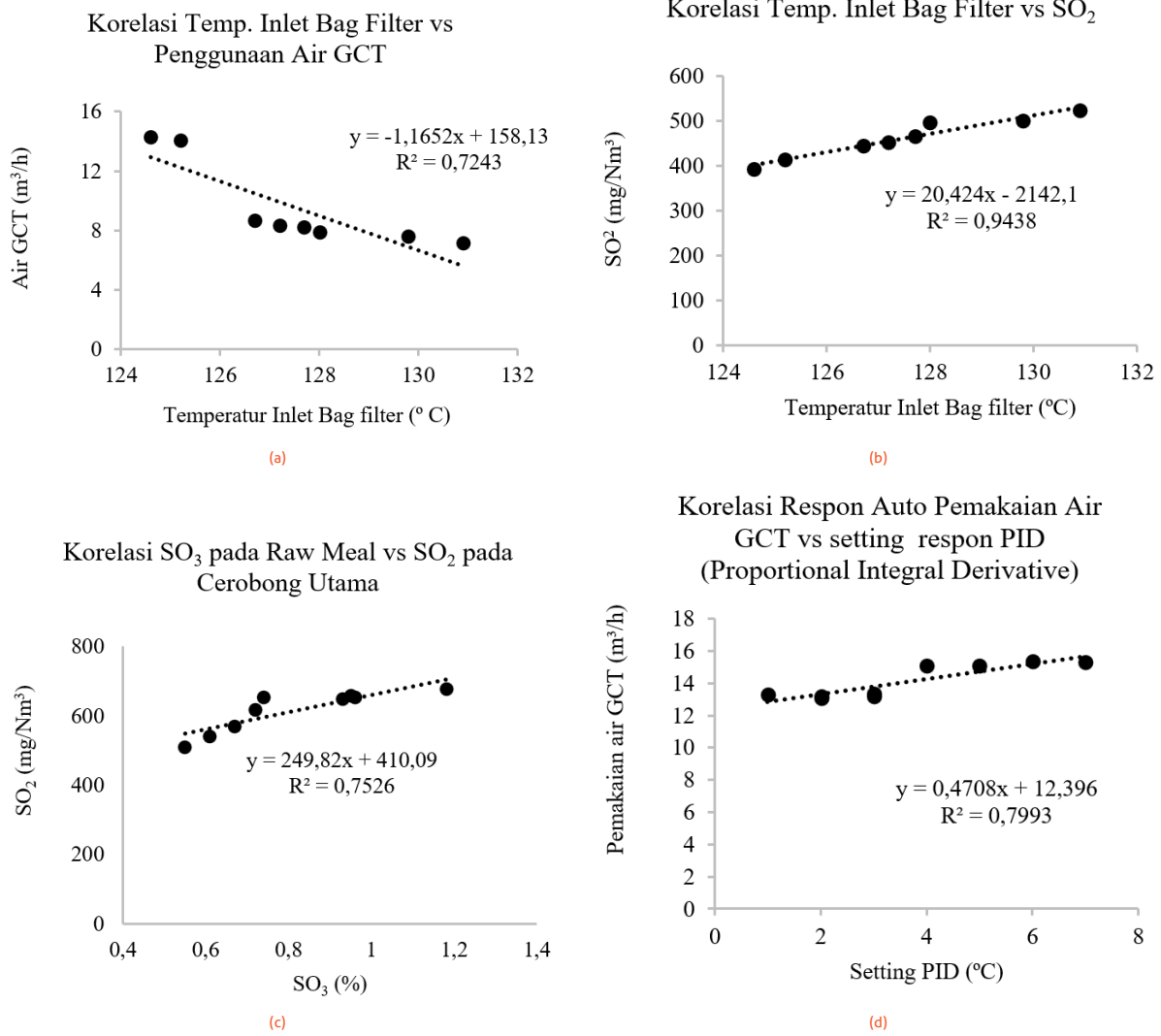
Sebagai langkah lanjutan adalah melakukan analisis penyebab masalah, yaitu mengapa penggunaan air di GCT tidak efisien. Hasil diskusi dari tim dapat dilihat pada fish bone dia-

TABEL 1. Poin penyebab dari masing-masing faktor dengan rangking berdasarkan data dari operator*.

Faktor Penyebab	Penyebab	Rangking*
Manusia	Operator hanya mengikuti SOP yang ada.	5
	Patroller lalai SOP	7
Mesin	Respon pada auto lambat (difference 5°C)	4
Material	Saringan air rusak	6
	Kandungan H ₂ O pada bahan >10 %.	8
Lingkungan	Kandungan SO ₃ pada Raw meal >0,5 %.	3
	Kadar SO ₂ di Cerobong masih jauh dari NAB	2
Metode	Temperatur Inlet bag filter maks. 117 °C.	1

TABEL 2. Faktor penyebab dominan dari penyebab tidak efisiensi penggunaan air di GCT.

No	Penyebab dominan	R ²
1	Kadar SO ₂ di Cerobong masih jauh dari NAB (nilai ambang batas)	0.9438
2	Respon Auto air GCT terhadap temperatur Inlet Bag filter lambat (difference 5°C).	0.7993
3	Kandungan SO ₃ pada Raw meal >0,5 %.	0.7522
4	Temperatur Inlet bag filter maksimal 117 °C	0.7243



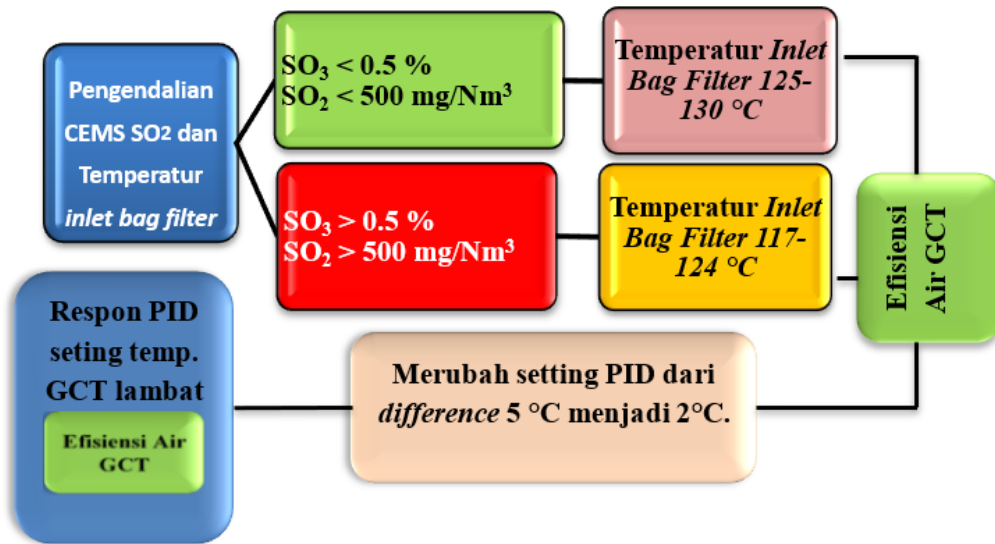
GAMBAR 6. Korelasi antara parameter-parameter penyebab tidak efisiensi penggunaan air di GCT.

gram di Gambar 5. Dapat dilihat bahwa terdapat paling tidak lima faktor yang dideteksi, yaitu material, mesin, manusia, lingkungan dan metode. Dan dari masing-masing faktor ter-

dapat beberapa poin yang menjadi penyebab. Untuk masing-masing faktor diambil satu poin yang paling dominan, dan rangkumannya dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 3. Faktor penyebab dominan dari penyebab tidak efisiensi penggunaan air di GCT.

Faktor penyebab: Kadar SO ₂ di Cerobong masih jauh dari NAB	
Why	Agar kadar SO ₂ di Cerobong lebih optimal.
What	Menaikan temperatur inlet bag filter sampai limit 130 °C.
Where	Dust Collector Raw Mill Plant 10
How	Menaikan seting temperatur Inlet bag filter sampai limit 130 °C dengan memonitor dan mengendatkan kadar SO ₃ di cerobong tetap dibawah NAB (<650 mg/Nm ³)
Faktor penyebab: Respon Auto air GCT terhadap temperatur Inlet Bag filter lambat (difference 5°C).	
Why	Agar respon flow air di GCT terhadap temperatur inlet bag filter lebih cepat sehingga penggunaan air bisa lebih efisien.
What	Merubah setting pada PID (Proportional Integral Derivative controller) temperatur inlet bag filter menjadi 2 °C.
Where	PID temperatur inlet bag filter Raw Mill Plant 10.
How	Merubah seting diference temperatur pada PID temperatur inlet bag filter dari 5 °C menjadi 2 °C sehingga respon flow air lebih cepat terhadap perubahan temperatur di inlet bag filter.
Faktor penyebab: Kandungan SO ₃ pada Raw meal >0,5 %.	
Why	Agar kandungan SO ₂ di Cerobong tidak melebihi NAB pada temperatur inlet bag filter >117 °C.
What	Membatasi kadar SO ₃ pada Raw meal maksimal 0,5 %.
Where	Raw Mill Plant 10.
How	Membatasi kandungan kadar SO ₃ pada Raw Meal yaitu maksimal 0,5 % dengan cara pengendalian kadar SO ₃ di lime stone sebagai bahan baku utama.
Faktor penyebab: Temperatur Inlet bag filter maksimal 117 °C.	
Why	Agar pemakaian air di GCT lebih efisien.
What	Menaikan temperatur inlet bag filter sampai 130 °C.
Where	Raw Mill Plant 10.
How	Menaikan temperatur operasional di Inlet bag filter dari sebelumnya maksimal 117 °C menjadi maksimal 130 °C.



GAMBAR 7. Bagan SOP baru sebagai hasil perbaikan untuk efisiensi air di GCT.

Tabel 1 menunjukkan beberapa poin penyebab yang dominan yang mempengaruhi volum air pada GCT. Dari faktor ini dilakukan pemeringkatan didapatkan empat faktor teratas, yaitu (1) temperatur inlet *bag filter*, (2) kadar SO₂ di cerobong, (3) kandungan SO₃ pada raw meal, dan (4) respon auto pada PID lambat.

3.3 Pengujian dan penentuan penyebab dominan

Setelah penyebab dominan didapatkan pada langkah sebelumnya, pengujian dan penentuan penyebab dominan ini dilakukan lebih mendalam. Dengan mengambil data yang lebih lengkap, korelasi dari penyebab dominan tersebut dianalisis dan grafik korelasinya dapat dilihat pada Gambar 6.

Gambar 6a menunjukkan hubungan temperatur inlet *bag filter* dan penggunaan air di GCT, 6b menunjukkan hubungan temperatur inlet *bag filter* dan kadar SO₂ di cerobong, 6c menunjukkan hubungan kadar SO₃ pada raw meal dan SO₂ di cerobong, dan yang terakhir 6d menunjukkan hubungan respon auto pemakaian air dan setting respon PID. Analisis hubungan linearitas dengan menggunakan R² dilakukan dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 6a-6d dan Tabel 2. Angka R² yang didapatkan berkisar antara 0,72 hingga

0,94, di mana R² semakin tinggi menunjukkan hubungan linearitas yang semakin tinggi.

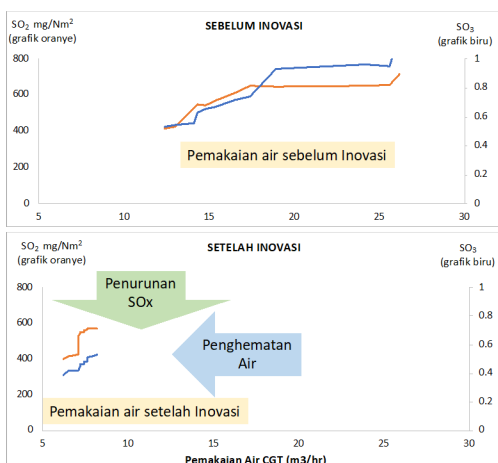
3.4 Rencana pelaksanaan perbaikan

Tabel 3 menunjukkan secara rinci *why, what, where* dan *how* dari rencana pelaksanaan perbaikan. Dari Tabel 2 didapatkan bahwa korelasi paling kuat adalah kadar SO₂ dan efisiensi penggunaan air GCT. Oleh karena itu untuk mendapatkan nilai kadar SO₂ pada emisi industri semen, analisis lebih dalam perlu dilakukan sebagai berikut.

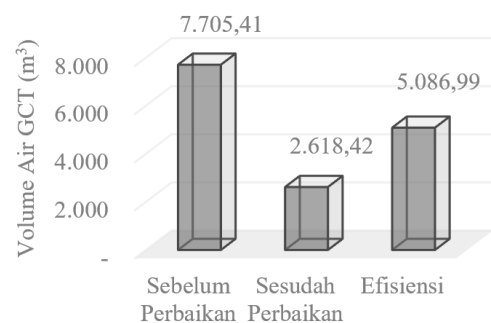
3.5 Pelaksanaan perbaikan

Dalam pelaksanaan perbaikan terhadap ke empat faktor penyebab tersebut akan mengacu pada tabel rencana perbaikan, yang tersusun dalam dokumen berupa SOP pengendalian SO₂ pada cerobong utama dan temperatur inlet *bag filter*. Gambar 7 menunjukkan bagan SOP baru yang bertujuan untuk mendapatkan efisiensi penggunaan air di GCT.

Dari bagan SOP pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa untuk mendapatkan efisiensi penggunaan air industri di GCT maka pengendaliannya dilakukan dengan langkah sebagai berikut: (1) apabila SO₃ raw meal dibawah 0.5 % dan SO₂ di cerobong masih dibawah 500 mg/Nm³ maka temperatur operasional inlet *bag filter* bisa diset pada temperatur 125-130 °C; (2) apabila SO₃ raw meal lebih dari 0.5 % dan SO₂ di ce-



GAMBAR 8. Pemakaian Air GCT, SO₂, dan SO₃ sebelum dan setelah inovasi.



GAMBAR 9. Pemakaian air GCT, SO₂, dan SO₃ sebelum dan setelah inovasi (kumulatif selama 15 hari).

robong utama diatas 500 mg/Nm³ maka temperatur operasional inlet *bag filter* diset pada temperatur 117-124 °C; dan (3) perubahan seting PID pada auto control temperatur outlet GCT dari difference 5°C menjadi 2 °C.

Dengan melakukan SOP baru dari hasil kajian di atas, maka didapatkan hasil yang lebih baik (Gambar 8 dan 9). Dengan variasi nilai SO₃ dan SO₂ yang tercatat, pemakaian air pada GCT jelas terlihat lebih efisien, dimana grafik bergeser ke kiri pada Gambar 8. Data kumulatif selama 15 hari untuk sebelum dan sesudah inovasi ditunjukkan pada Gambar 9. Dengan data ini, terlihat jelas bahwa dengan melakukan optimasi, efisiensi air GCT dapat dilakukan dan juga didapatkan pengurangan SO₂ pada emisi. Dari data kumulatif selama 15 hari (Gambar 9) didapatkan efisiensi sebesar 5086 m³, dan jika operasi pabrik mencapai 330 hari/tahun, maka efisiensi yang diperoleh sebesar 111913 m³ per tahun.

4. KESIMPULAN

Efisiensi air pada industri semen, utamanya di bagian proses GCT dapat dilakukan dengan melakukan analisis *seven tools*, mulai dari analisis masalah hingga pembuatan usulan SOP baru. Dari hasil analisis, didapatkan data bahwa penggunaan air pada GCT merupakan salah satu titik penting penggunaan air di industri semen, dan sangat mempengaruhi kualitas dari emisi gas, terutama kandungan SO₂. Beberapa faktor memiliki hubungan/korelasi yang erat dengan penggunaan air di GCT, yaitu kadar SO₂ pada emisi, kadar SO₃ pada *raw meal* bahan baku, settingan temperatur inlet *bag filter*, dan kecepatan respon Auto air GCT terhadap temperatur inlet *bag filter*. Dari analisis ini dibuat SOP baru untuk perbaikan, dimana tergantung pada kadar SO₂ dan SO₃ di emisi dan bahan baku, maka dapat dilakukan pengendalian temperatur inlet *bag filter* yang selanjutnya akan mengendalikan volum air di GCT. Hasil pengembangan/inovasi ini menunjukkan bahwa SOP baru dapat menghemat air di GCT secara signifikan, yaitu sekitar 5086 m³ (untuk 15 hari) atau 111913 m³ per tahun.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Studi ini disupport oleh Kerjasama PT. Indocement Tunggal Prakasa Tbk dan Departemen Teknik Kimia UGM.

DAFTAR PUSTAKA

Antony J, McDermott O, Sony M. 2022. Revisiting Ishikawa's original seven basic tools of quality control: A global study and some new insights. *IEEE Transactions on Engineering Management*:1–16. doi:10.1109/TEM.2021.3095245.

Berube RA. 2011. Effective temperature control for cement

kiln off-gases. <http://www.cheresources.com/cementkiln.shtml>.

- Devi K, AAlakanandana V. 2017. Impacts of cement industry on environment - An overview. *Asia Pasific Journal of Research*. I(LVII):156–161. <https://apjor.com/>.
- Haddouche R, Chetate B, Boumedine MS. 2019. Neural network ARX model for gas conditioning tower. *International Journal of Modelling and Simulation*. 39(3):166–177. doi:10.1080/02286203.2018.1538848.
- Hosseinian SM, Nezamoleslami R. 2018. Water footprint and virtual water assessment in cement industry: A case study in Iran. *Journal of Cleaner Production*. 172:2454–2463. doi:10.1016/j.jclepro.2017.11.164.
- PT ITP Unit Palimanan. 2000. Laporan inovasi efisiensi air. Technical report.
- Purnomo CW, Budhijanto W, Alfisyah M, Triyono. 2018. Improvement of cement plant dust emission by bag filter system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 316:012031. doi:10.1088/1757-899X/316/1/012031.
- Purnomo CW, Cahyono RB, Setiawan A, Amin N, Triyono. 2019. Water and power consumption reduction by gas conditioning tower system modification in cement industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 543(1):012051. doi:10.1088/1757-899X/543/1/012051. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/543/1/012051>.
- Raring DL. 1979. A new look at evaporative gas cooling and conditioning in the cement industry. *IEEE Transactions on Industry Applications*. IA-15(4):357–364. doi:10.1109/TIA.1979.4503673.
- Salas DA, Ramirez AD, Rodríguez CR, Petroche DM, Boero AJ, Duque-Rivera J. 2016. Environmental impacts, life cycle assessment and potential improvement measures for cement production: a literature review. *Journal of Cleaner Production*. 113:114–122. doi:10.1016/j.jclepro.2015.11.078.
- Schneider M. 2015. Process technology for efficient and sustainable cement production. *Cement and Concrete Research*. 78:14–23. doi:10.1016/j.cemconres.2015.05.014.
- Schneider M, Romer M, Tschudin M, Bolio H. 2011. Sustainable cement production—present and future. *Cement and Concrete Research*. 41(7):642–650. doi:10.1016/j.cemconres.2011.03.019.
- Zimwara D, Mugwagwa L, Chikowore TR. 2012. Air pollution control techniques for the cement manufacturing industry: A case study for Zimbabwe. *Proceedings of International Conference on Computers and Industrial Engineering, CIE*. 1(July):121–133. <https://zenodo.org/record/2551189/files/14fdcf1ec5751636ede97f2a517bb557fe09.pdf>.