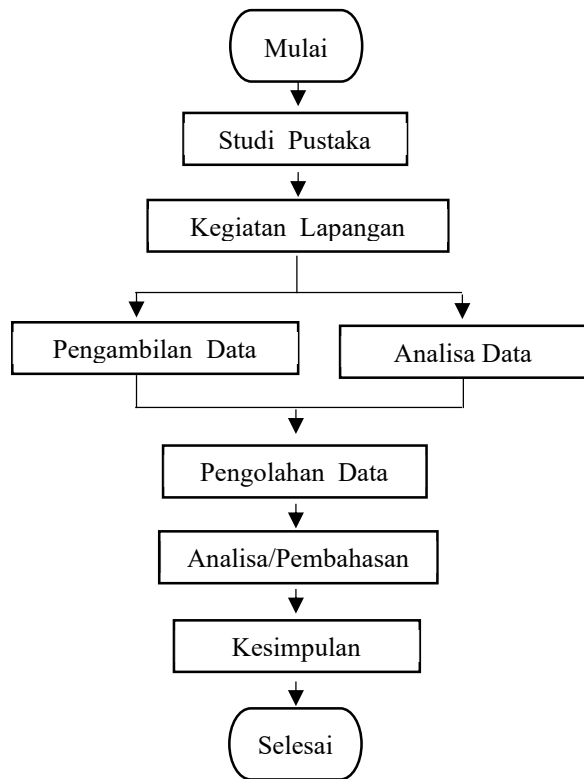


bakar. Alat *bomb calorimeter* yang digunakan dengan spesifikasi sebagai berikut:

Merk : Parr
 Model : 6300
 Buatan : USA



Gambar 2. Diagram Alir Studi Kasus

Metode analisa data terdiri dari analisa deskriptif dan analisa matematis. Analisa deskriptif bertujuan menggambarkan kondisi riil yang dihadapi pabrik semen yang telah menerapkan penggunaan limbah B3 *Spent Bleaching Earth* (SBE) sebagai bahan bakar alternatif. Analisis deskriptif digunakan untuk menjelaskan bagaimana penggunaan limbah B3 *Spent Bleaching Earth* (SBE) sebagai bahan bakar alternatif di pabrik semen ditinjau dari persentase campuran SBE dengan bahan bakar utama batubara dan pengaruhnya terhadap operasional mesin *rotary kiln* dan kualitas produk *clinker* yang dihasilkan.

Analisa matematis dilakukan untuk menghitung efisiensi biaya, konsumsi energi panas spesifik atau *Specific Fuel Consumption* (SFC) dan *Thermal Substitution Rate* (TSR). Analisa efisiensi biaya dilakukan dengan cara menghitung total biaya yang dikeluarkan dari pemakaian batubara sebagai bahan bakar utama dan biaya kompensasi dari penggunaan limbah B3 *Spent Bleaching Earth* (SBE) sebagai bahan bakar alternatif.

% efisiensi biaya =

$$\frac{\text{biaya batubara} - \text{kompensasi biaya limbah SBE}}{\text{biaya tanpa bahan bakar alternatif}} \times 100$$

(PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk, 2021)

Specific Fuel Consumption (SFC) dan *Thermal Substitution Rate* (TSR) dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$KE_{pS} = \frac{\sum(NHVi \times BBi)}{P}$$

Keterangan:

KE_{pS} = konsumsi energi panas spesifik (kkal/kg *clinker*)

$NHVi$ = kalor netto bahan bakar (kkal/kg bahan bakar)

BBi = jumlah konsumsi bahan bakar (kg)

P = jumlah produk (kg)

$$\text{Thermal Substitution Rate (TSR)} = \frac{En_{AF}}{En_F + En_{AF}} \times 100\%$$

En_F = $\sum(Fi \times NHV_{Fi})$

En_{AF} = $\sum(AFi \times NHV_{AFi})$

Keterangan:

En_F = total energi *fossil fuel* (kkal)

En_{AF} = total energi *alternative fuel* (kkal)

Fi = jumlah *fossil fuel* (kg)

AFi = jumlah *alternative fuel* (kg)

NHV_{Fi} = *net heating value fossil fuel* (kkal/kg)

NHV_{AFi} = *net heating value alternative fuel* (kkal/kg)

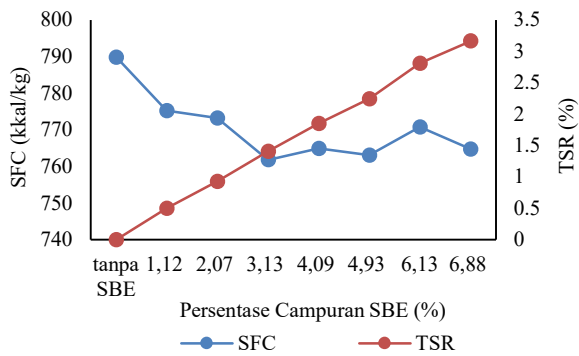
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Konsumsi Panas Spesifik atau *Specific Fuel Consumption* (SFC)

Pada proses pembakaran bahan baku menjadi produk *clinker* di dalam mesin *rotary kiln*, besarnya konsumsi panas spesifik atau *Specific Fuel Consumption* (SFC) merupakan hal yang sangat penting. Hal ini karena akan sangat berpengaruh terhadap besarnya biaya produksi dikarenakan sekitar 30% biaya yang dibutuhkan dalam produksi berasal dari kebutuhan bahan bakar.

Konsumsi panas spesifik atau *Specific Fuel Consumption* (SFC) didapatkan dengan menghitung banyaknya pemakaian bahan bakar campuran serta nilai kalori dari bahan bakar campuran tersebut untuk setiap produk *clinker* yang dihasilkan dalam satuan kkal/kg *clinker*. Nilai konsumsi panas spesifik atau *Specific Fuel Consumption* (SFC) di PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk ditetapkan sebesar 783 kkal/kg *clinker*.

Disamping menghitung konsumsi panas spesifik atau *Specific Fuel Consumption* (SFC), dengan mengetahui nilai kalori dari batubara yang digunakan yaitu sebesar 4915 kkal/kg dan nilai kalori dari limbah B3 *Spent Bleaching Earth* (SBE) sebesar 2175 kkal/kg, penggunaan limbah B3 *Spent Bleaching Earth* (SBE) sebagai bahan bakar alternatif juga dapat dihitung nilai *Thermal Substitution Rate* (TSR). TSR menyatakan tingkat persentase panas dari bahan bakar alternatif yang digunakan untuk menggantikan bahan bakar fosil.



Gambar 3. Grafik *Specific Fuel Consumption* (SFC) dan *Thermal Substitution Rate* (TSR)

Berdasarkan pada Gambar 3 dapat diketahui bahwa konsumsi panas spesifik atau *Specific Fuel Consumption* (SFC) pada pembakaran di mesin *rotary kiln* dengan menggunakan campuran bahan bakar alternatif limbah B3 *Spent Bleaching Earth* (SBE) lebih rendah dibandingkan pada saat mesin *rotary kiln* tidak menggunakan bahan bakar alternatif dan mengalami penurunan seiring bertambahnya persentase campuran SBE.

Penggunaan bahan bakar alternatif limbah B3 *Spent Bleaching Earth* (SBE) dapat menurunkan konsumsi panas spesifik atau *Specific Fuel Consumption* (SFC) pada operasional mesin *rotary kiln* dalam proses pembuatan *clinker* di pabrik semen. Ayu (2016) menyatakan bahwa konsumsi panas spesifik pada produksi semen akan semakin mengecil apabila semakin banyak menggunakan bahan bakar alternatif, hal tersebut dikarenakan penggunaan bahan bakar alternatif akan menurunkan emisi gas karbon monoksida. Hal ini sesuai dengan data yang didapat hingga campuran bahan bakar alternatif mencapai 3,13%.

Akan tetapi pada saat persentase campuran bahan bakar alternatif meningkat hingga mencapai rasio 6,88%, konsumsi panas spesifik atau *Specific Fuel Consumption* (SFC) cenderung bersifat fluktuatif, hal ini dikarenakan nilai kalori bahan bakar campuran yang juga bersifat fluktuatif sehingga mempengaruhi konsumsi panasnya.

Sementara itu, untuk *Thermal Substitution Rate* (TSR) pada pembakaran di mesin *rotary kiln* dengan menggunakan campuran bahan bakar alternatif limbah B3 *Spent Bleaching Earth* (SBE) mengalami kenaikan seiring bertambahnya persentase campuran. Perbandingan yang linier antara kenaikan persentase campuran bahan bakar alternatif limbah B3 *Spent Bleaching Earth* (SBE) dengan nilai *Thermal Substitution Rate* (TSR) dikarenakan teradinya substitusi dari nilai kalor bahan bakar alternatif terhadap nilai kalor dari bahan bakar batubara untuk setiap persentase campuran bahan bakar.

3.2. Analisa Efisiensi Biaya

Penggunaan bahan bakar alternatif merupakan langkah diversifikasi untuk mengantisipasi naiknya harga bahan bakar batubara yang terjadi sepanjang tahun

2021 hingga tahun 2022. PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk Pabrik Baturaja II menggunakan batubara yang dibeli dari *supplier* batubara seharga Rp. 683.182 per ton.

Limbah B3 *Spent Bleaching Earth* (SBE) yang dikelola oleh PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk yang berasal dari industri *refinery* minyak goreng sawit memberikan manfaat ekonomi bagi perusahaan yaitu setiap ton limbah B3 *Spent Bleaching Earth* (SBE) yang dikirim ke pabrik akan mendapatkan kompensasi senilai Rp. 200.000 per ton. Nilai kompensasi ini merupakan biaya yang diberikan oleh penghasil limbah sebagai biaya atas pengelolaan limbah B3 yang dihasilkan oleh industri tersebut.

Perhitungan efisiensi biaya yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar alternatif limbah B3 *Spent Bleaching Earth* (SBE) untuk masing-masing persentase campuran bahan bakar dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Efisiensi Biaya Bahan Bakar

Persentase Campuran Bahan Bakar (%)	% Efisiensi Biaya Bahan Bakar (%)
tanpa SBE	0
1,12	1,45
2,07	2,68
3,13	4,05
4,09	5,29
4,93	6,37
6,13	7,92
6,88	8,89

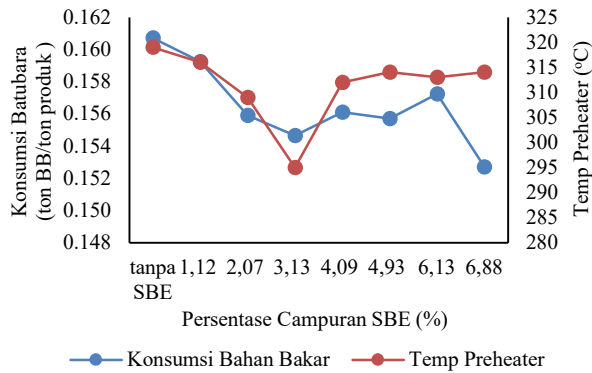
Bersasarkan data pada Tabel 2, efisiensi biaya terlihat semakin meningkat seiring dengan bertambahnya persentase campuran bahan bakar batubara dengan bahan bakar alternatif limbah B3 *Spent Bleaching Earth* (SBE) yang digunakan sebagai bahan bakar pada proses pembuatan *clinker* di mesin *rotary kiln*.

Pada saat penggunaan bahan bakar dengan persentase campuran sebesar 0% biaya yang dikeluarkan adalah biaya total dari harga batubara, sedangkan pada saat penggunaan bahan bakar alternatif SBE biaya yang timbul merupakan biaya batubara yang dikurangi dengan biaya kompensasi dari pengolahan limbah SBE. Sehingga semakin bertambahnya persentase campuran bahan bakar alternatif akan meningkatkan efisiensi dari biaya penggunaan bahan bakar, pada saat penggunaan bahan bakar alternatif mencapai 6,88% efisiensi penggunaan biaya bahan bakar mencapai 8,89%.

3.3. Analisa Data Operasional Rotary Kiln

Rotary kiln merupakan sebuah perangkat *pyroprocessing* yang merupakan jantung pabrik pada proses pembuatan semen yang digunakan untuk proses klinkerisasi dengan menaikkan temperatur material dalam proses yang berkelanjutan.

Penggunaan bahan bakar campuran masing-masing persentase campuran untuk setiap ton produk *clinker* yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh Campuran Bahan Bakar Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Per ton Produk Clinker

Berdasarkan pada Gambar 4 dapat diketahui bahwa penggunaan bahan bakar alternatif dapat menurunkan jumlah konsumsi bahan bakar jika dibandingkan tidak menggunakan bahan bakar alternatif, dimana diperlukan sebesar 0,161 ton bahan bakar untuk setiap ton produk *clinker* yang dihasilkan dan semakin menurun seiring meningkatnya persentase campuran bahan bakar alternatif.

Hal ini dikarenakan menurunnya konsumsi panas spesifik atau *Specific Fuel Consumption* (SFC) pada saat penggunaan bahan bakar alternatif. Sehingga dalam operasional mesin *rotary kiln* panas yang dibutuhkan oleh mesin *rotary kiln* sudah terpenuhi untuk menghasilkan produk *clinker* yang sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan bagian Department Quality Control.

Hal ini berarti penggunaan bahan bakar alternatif limbah B3 *Spent Bleaching Earth* (SBE) memberikan dampak yang positif dari sisi penggunaan bahan bakar, dimana bahan bakar yang dibutuhkan dalam proses pembakaran di mesin *rotary kiln* dalam menghasilkan produk *clinker* lebih rendah dibandingkan ketika tidak menggunakan bahan bakar alternatif.

Sementara itu, untuk pengaruh pencampuran bahan bakar alternatif terhadap temperatur *preheater* untuk masing-masing persentase campuran bahan bakar berdasarkan pada Gambar 4 terlihat bahwa pada saat penggunaan bahan bakar alternatif limbah B3 *Spent Bleaching Earth* (SBE) temperatur *preheater* lebih rendah bila dibandingkan tidak menggunakan bahan bakar alternatif. Temperatur *preheater* mengalami penurunan seiring bertambahnya persentase campuran bahan bakar alternatif mencapai 3,13%, namun ketika persentase pencampuran bertambah temperatur *preheater* bersifat fluktuatif hingga persentase campuran bahan bakar alternatif mencapai 6,88%.

Fluktuatifnya temperatur *preheater* ketika persentase campuran SBE meningkat dari 3,13% hingga 6,88% dikarenakan fluktuatifnya konsumsi panas spesifik atau *Specific Fuel Consumption* (SFC), konsumsi panas spesifik ini sangat berpengaruh terhadap panas pada mesin *rotary kiln*.

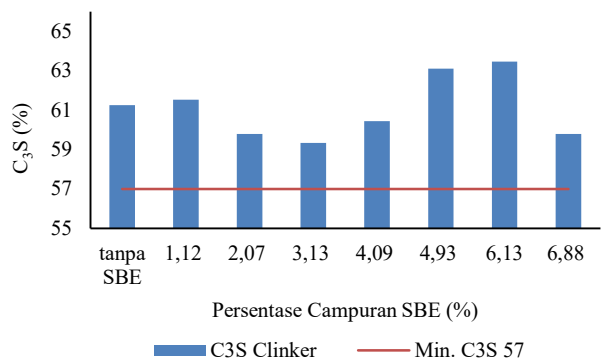
Secara keseluruhan temperatur *preheater* ketika menggunakan campuran bahan bakar alternatif masih

berada di bawah temperatur ketika tidak menggunakan bahan bakar alternatif, ini menandakan penggunaan limbah B3 *Spent Bleaching Earth* (SBE) sebagai campuran bahan bakar alternatif pada proses pembuatan *clinker* di mesin *rotary kiln* dapat menurunkan panas pada gas buang mesin *rotary kiln*.

3.4. Analisa Data Kualitas Produk Clinker

Clinker yang dihasilkan dari proses pembakaran mesin *rotary kiln* dipengaruhi oleh kualitas umpan bahan baku dan dari proses pembakaran itu sendiri. Umpan bahan baku kualitas ditetapkan dengan membuat target berupa modulus *Lime Saturation Factor* (LSF), *Silika Modulus* (SM), dan *Alumina Modulus* (AM). Sedangkan dari proses pembakaran dipengaruhi oleh penggunaan bahan bakar dan dari panas (temperatur) pembakaran di mesin *rotary kiln*.

Umpan yang baik sesuai target dan proses pembakaran yang sesuai akan menghasilkan produk *clinker* yang berkualitas, diantaranya yaitu terbentuknya mineralogi *clinker tricalcium silicate* (C₃S), *tricalcium aluminate* (C₃A), *free lime* (FCaO) dan *Liter Weight* (LW). Standar kualitas *clinker* yang ditetapkan oleh PT. Semen Baturaja (Pesero) Tbk merujuk kepada dokumen Manual Operasional Department Quality Control yaitu C₃S minimal 57 %, C₃A maksimal 12%, FCaO maksimal 1,5% dan LW dengan *range* 1100-1300 gr/liter.

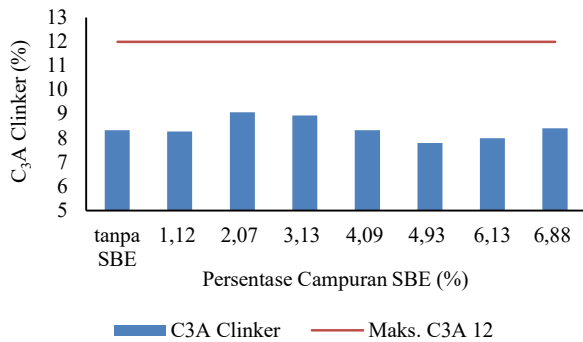


Gambar 5. Kualitas C₃S Clinker

Berdasarkan pada Gambar 5 terlihat kualitas C₃S *clinker* yang dihasilkan dari proses produksi *clinker* menggunakan bahan bakar alternatif dengan persentase campuran SBE 0% hingga mencapai 6,88%. Standar kualitas C₃S *clinker* yang ditetapkan oleh perusahaan melalui bagian Department Quality Control yaitu C₃S *clinker* dengan nilai minimal 57%. Terlihat bahwa kualitas C₃S *clinker* bersifat fluktuatif dengan *range* 59,33% sampai dengan 63,46%. Kualitas C₃S *clinker* yang bersifat fluktuatif ini dipengaruhi oleh kadar *ash* bahan bakar yang juga bersifat fluktuatif.

Penggunaan limbah B3 *Spent Bleaching Earth* (SBE) sebagai bahan bakar alternatif dengan persentase campuran SBE mencapai 6,88% tidak berpengaruh pada kualitas C₃S *clinker* yang dihasilkan dari proses pembakaran di mesin *rotary kiln* bila dilihat dari

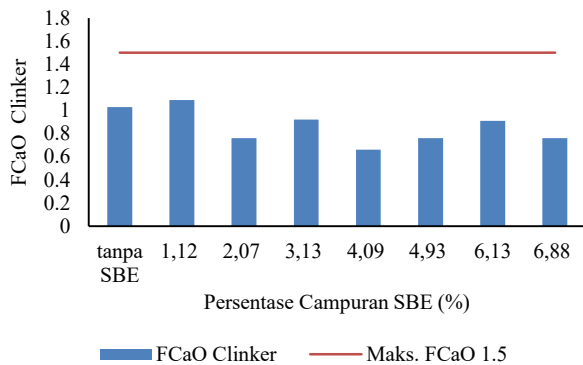
Gambar 5, dimana secara keseluruhan kualitas C_3S *clinker* masih sesuai standar yang telah ditetapkan.



Gambar 6. Grafik Kualitas C_3A *Clinker*

Berdasarkan pada Gambar 6 terlihat kualitas C_3A *clinker* yang dihasilkan dari proses produksi *clinker* menggunakan bahan bakar alternatif dengan persentase campuran SBE 0% hingga mencapai 6,88%. Standar kualitas C_3A *clinker* yang ditetapkan oleh perusahaan melalui bagian Department Quality Control yaitu C_3A *clinker* dengan nilai maksimal 12%. Terlihat bahwa kualitas C_3A *clinker* bersifat fluktuatif dengan range 7,79% sampai dengan 9,07%.

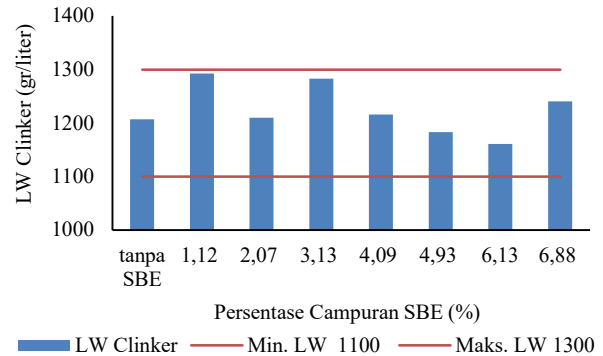
Dari data tersebut semua kualitas C_3A *clinker* masuk standar yang telah ditetapkan, hal ini berarti penggunaan limbah B3 *Spent Bleaching Earth* (SBE) sebagai bahan bakar alternatif dengan persentase campuran SBE mencapai 6,88% tidak berpengaruh pada kualitas C_3A *clinker* yang dihasilkan dari proses pembakaran di mesin *rotary kiln*.



Gambar 7. Grafik Kualitas FCaO *Clinker*

Berdasarkan pada Gambar 7 terlihat kualitas FCaO *clinker* yang dihasilkan dari proses produksi *clinker* menggunakan bahan bakar alternatif dengan persentase campuran SBE 0% hingga mencapai 6,88%. Standar kualitas FCaO *clinker* yang ditetapkan oleh perusahaan melalui bagian Department Quality Control yaitu FCaO *clinker* dengan nilai maksimal 1,5%. Terlihat bahwa kualitas FCaO *clinker* bersifat fluktuatif dengan range 0,66 sampai dengan 1,09.

Dari data tersebut semua kualitas FCaO *clinker* masuk standar yang telah ditetapkan, hal ini berarti penggunaan limbah B3 *Spent Bleaching Earth* (SBE) sebagai bahan bakar alternatif dengan persentase campuran SBE mencapai 6,88% tidak berpengaruh pada kualitas FCaO *clinker* yang dihasilkan dari proses pembakaran di mesin *rotary kiln*.



Gambar 8. Grafik Kualitas LW *Clinker*

Berdasarkan pada Gambar 8 terlihat kualitas LW *clinker* yang dihasilkan dari proses produksi *clinker* menggunakan bahan bakar alternatif dengan persentase campuran SBE 0% hingga mencapai 6,88%. Standar kualitas LW *clinker* yang ditetapkan oleh perusahaan melalui bagian Department Quality Control yaitu LW *clinker* dengan nilai minimal 1100 gr/liter dan maksimal 1300 gr/liter. Terlihat bahwa kualitas LW *clinker* bersifat fluktuatif dengan range 1161 gr/liter sampai dengan 1292 gr/liter.

Dari data tersebut semua kualitas LW *clinker* masuk standar yang telah ditetapkan, hal ini berarti penggunaan limbah B3 *Spent Bleaching Earth* (SBE) sebagai bahan bakar alternatif dengan persentase campuran SBE mencapai 6,88% tidak berpengaruh pada kualitas LW *clinker* yang dihasilkan dari proses pembakaran di mesin *rotary kiln*.

4. SIMPULAN

Berdasarkan pada hasil studi kasus yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. *Specific Fuel Consumption* (SFC) dari penggunaan limbah B3 *Spent Bleaching Earth* (SBE) dengan persentase campuran SBE sebesar 1,12%, 2,07%, 3,13%, 4,09%, 4,93%, 6,13% dan 6,88% masing-masing sebesar 775,19, 773,25, 761,84, 764,92, 763,10, 770,80 dan 746,74 kkal/kg *clinker*
2. Efisiensi biaya yang didapatkan dari penggunaan limbah B3 *Spent Bleaching Earth* (SBE) dengan persentase campuran SBE sebesar 1,12%, 2,07%, 3,13%, 4,09%, 4,93%, 6,13% dan 6,88% masing-masing sebesar 1,45%, 2,68%, 4,05%, 5,29%, 6,37%, 7,92% dan 8,89%
3. Penggunaan limbah B3 *Spent Bleaching Earth* (SBE) sebagai bahan bakar alternatif menurunkan konsumsi bahan bakar dan menurunkan panas pada

gas buang mesin *rotary kiln*

4. Penggunaan limbah B3 *Spent Bleaching Earth* (SBE) sebagai bahan bakar alternatif dengan persentase campuran SBE sebesar 1,12%, 2,07%, 3,13%, 4,09%, 4,93%, 6,13% dan 6,88% tidak menurunkan kualitas produk *clinker* yang dihasilkan

DAFTAR PUSTAKA

- Ayu, Riska. 2016. Audit Energi pada *Dry Process Rotary Kiln System* di Pabrik Semen. *Tugas Akhir*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Mardiana, G., dan Mahardika, R. 2010. Pemanfaatan Limbah Biomass Sebagai Bahan Bakar Alternatif dalam Kegiatan Co-processing di Semen Gresik. *Prosiding Seminar Rekayasa Kimia dan Proses 2010*, Semarang, 4-5 Agustus 2010. Semarang: Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang, 1-6.
- Minerba.esdm.go.id. (2022, 15 April). Tabel Harga Mineral dan Batubara Acuan. Diakses pada 15 April 2022, dari https://www.minerba.esdm.go.id/harga_acuan
- Pramesthi, F.D. 2009. Penggunaan Bahan Bakar Alternatif di Industri Semen. *Tesis*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Siami, L, Indrawati, D., Tazkiaturrizki, Dewi, R.A.K., dan Dwiana, A. 2021. Potensi Limbah B3 *Spent Bleaching Earth* Sebagai Bahan Bakar Pada Industri Minyak Goreng PT. ABC. *Jurnal Penelitian dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti Vol. 6 No. 1*.
- Yusnimar, Zahrina, I., dan Heltina, D. 2012. Sumber Bahan Bakar Alternatif Dari *Spent Bleaching Earth* Asal Industry Refinery Minyak Sawit. Laporan Hibah Kompetitif Penelitian Strategis Nasional. Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru.