BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan meliputi identifikasi kandungan bahan batu gamping yang digunakan, pengaruh suhu dan pengaruh besar ukuran butir batu gamping yang dikalsinasi serta penentuan waktu kalsinasi optimum.

V.1. Identifikasi Kandungan Batu Gamping

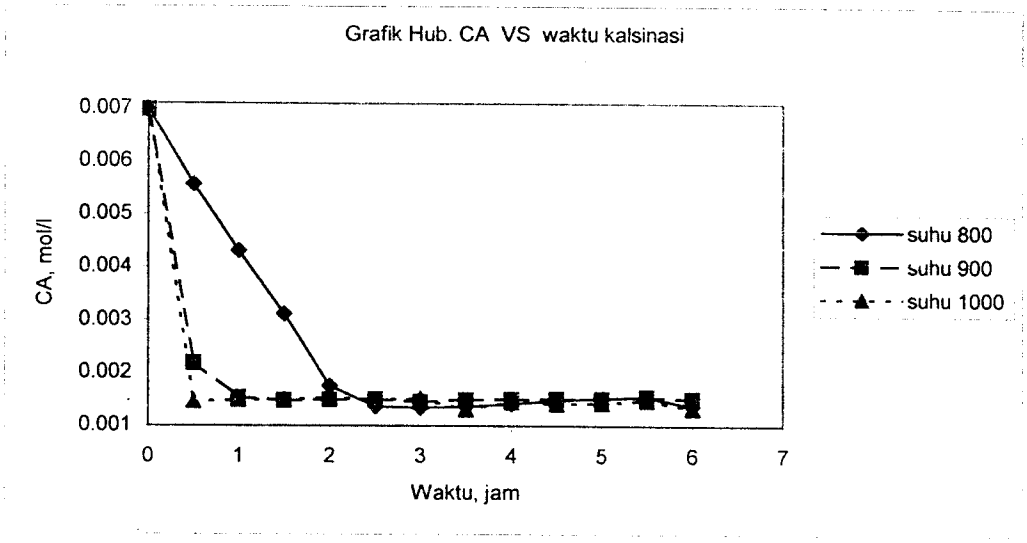
Hasil analisa laboratorium terhadap sampel batu gamping menggunakan alat *Atomic Absorption Spectrofotometre* (AAS) ditampilkan pada Daftar 2. Dari daftar terlihat unsur Ca dominan daripada yang lain. Hasil ekstrak data menunjukkan besarnya kandungan $CaCO_3$ sekitar 69,899% setelah dikoreksi dengan kadar CaO mula-mula menggunakan analisa volumetri. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa batu gamping yang dipakai sangat layak untuk dijadikan sebagai bahan baku pembuatan kapur tohor.

Tabel 2. Hasil analisa kandungan unsur batu gamping menggunakan *Atomic Absorption Spectrofotometre*

Senyawa	Prosentase (%)
Al	0.025
Ca	70.41
Fe	0.058
K	0.032
Mg	0.235
Na	0.006
Si	0.00134
LOI	29.233

V.2. Pengaruh Suhu

Data kinetika reaksi pembentukan kapur tohor (CaO) dari $CaCO_3$ pada berbagai suhu secara eksplisit dapat dilihat pada Gambar 2 yang juga menunjukkan karakteristik proses kalsinasi. Dari grafik terlihat kalsinasi $CaCO_3$ pada suhu 800°C, 900°C dan 1000°C secara umum mencapai kondisi kesetimbangan atau konversi maksimum sekitar

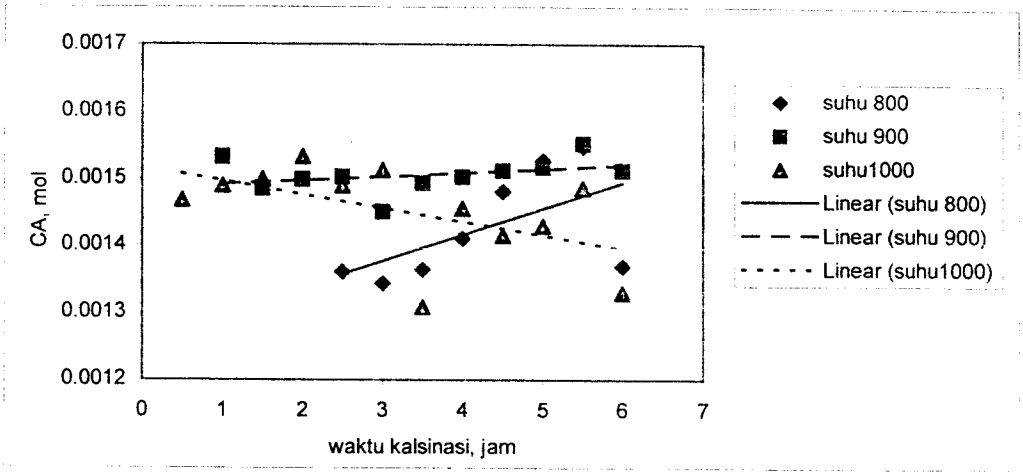


Gambar 3. Grafik data kinetika pada berbagai suhu kalsinasi.

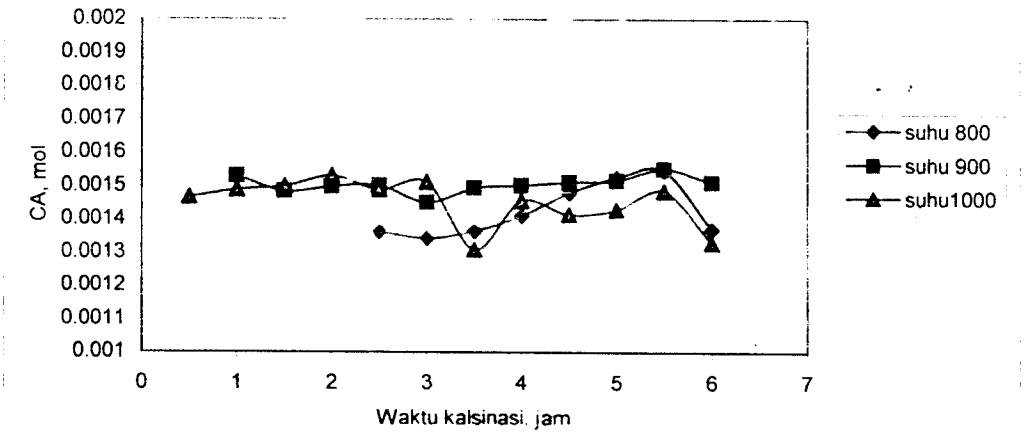
78% yaitu pada konsentrasi $CaCO_3$ tersisa (Ca) sekitar 0,0015 mol/l, meskipun terjadi perbedaan kecepatan dalam mencapai keadaan kesetimbangan dan perbedaan trend data kesetimbangan untuk tiap-tiap suhu bila diteliti lebih seksama. Trend seri data saat tercapai kesetimbangan ini terlihat jelas pada Gambar 3 dan 4.

Waktu kalsinasi $CaCO_3$ pada suhu 800°C, 900°C dan 1000°C untuk mencapai konversi maksimum pada keadaan kesetimbangan secara berurut masing-masing sekitar 3 jam. 1 jam dan 0.5 jam. Sehingga dengan meningkatnya suhu maka semakin cepat tercapai konversi maksimum. Hal ini bisa dipahami dengan meningkatnya suhu maka konstanta kecepatan reaksi juga akan semakin besar. Suhu meningkat menyebabkan energi aktivasi yang tersedia bagi pemutusan ikatan molekul dalam $CaCO_3$ semakin banyak yang melampaui nilai ambang *treshold.*

Gambar 3 memperlihatkan pendekatan regresi linier untuk melihat trend secara umum terhadap seri data saat tercapai konversi maksimum pada masing-masing suhu. Dari Gambar 3 dan 4 terlihat seri data pada suhu kalsinasi 800°C dan 1000°C cenderung berubah dengan bertambahnya waktu kalsinasi dan terlihat kurang stabil. Hal ini berbeda dengan seri data kesetimbangan untuk suhu 900°C yang merupakan seri data paling konstan dan stabil daripada seri data pada suhu 800°C dan 1000°C. Sehingga pada suhu 900°C dapat disimpulkan bahwa kesetimbangan optimal telah benar-benar relatif tercapai.



Gambar 4. Pendekatan regresi linier pada seri data saat tercapai kesetimbangan.



Gambar 5. Visualisasi stabilitas seri data saat tercapai kesetimbangan kalsinasi

Bila pendekatan dengan model reaksi homogen reversibel dipakai pada kinetika kalsinasi batu gamping maka diperoleh persamaan hubungan kadar $CaCO_3$ tersisa VS waktu kalsinasi dari persamaan rekasi

$$CaCO_3(s) \leftrightarrows CaO(s) + CO_2(g)$$

adalah

$$t = -\frac{Kc}{k_1.C_{Ao}} \cdot \frac{1}{2\sqrt{\frac{Kc}{C_{Ao}} + \left\{\frac{k_1Kc + C_{Ao}k_1M}{2C_{Ao}k_1}\right\}^2}} \ln \left\{ \frac{\frac{(C_{Ao}-C_A)}{C_{Ao}} + \frac{k_1Kc + C_{Ao}Mk_1}{2C_{Ao}k_1} - \sqrt{\frac{Kc}{C_{Ao}} + \left(\frac{k_1Kc + C_{Ao}k_1M}{2C_{Ao}k_1}\right)^2}}{\frac{(C_{Ao}-C_A)}{C_{Ao}} + \frac{k_1Kc + C_{Ao}Mk_1}{2C_{Ao}k_1} + \sqrt{\frac{Kc}{C_{Ao}} + \left(\frac{k_1Kc + C_{Ao}k_1M}{2C_{Ao}k_1}\right)^2}} \right\}$$

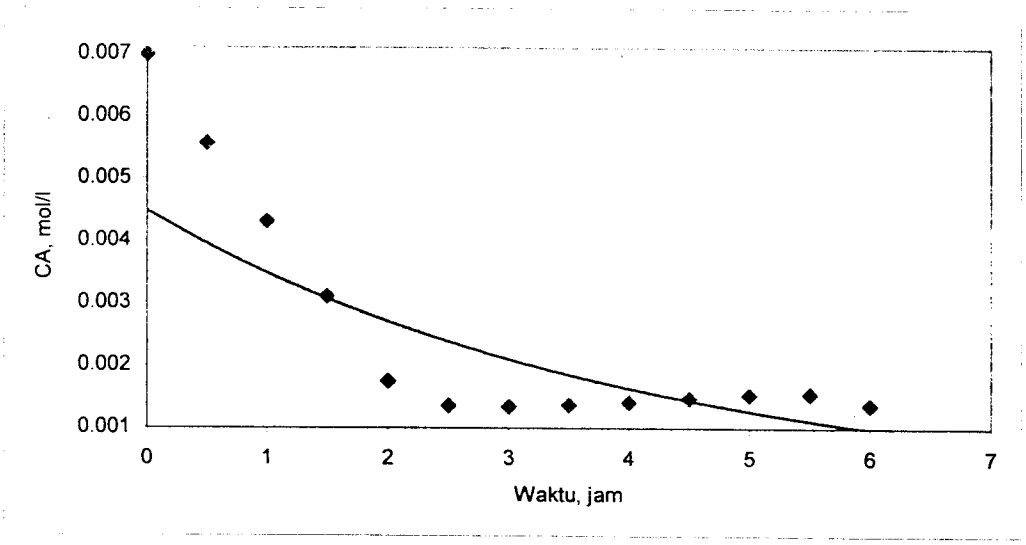
atau

$$e^t = \left\{ \frac{\frac{(C_{Ao}-C_A)}{C_{Ao}} + \frac{k_1Kc + C_{Ao}Mk_1}{2C_{Ao}k_1} - \sqrt{\frac{Kc}{C_{Ao}} + \left(\frac{k_1Kc + C_{Ao}k_1M}{2C_{Ao}k_1}\right)^2}}{\frac{(C_{Ao}-C_A)}{C_{Ao}} + \frac{k_1Kc + C_{Ao}Mk_1}{2C_{Ao}k_1} + \sqrt{\frac{Kc}{C_{Ao}} + \left(\frac{k_1Kc + C_{Ao}k_1M}{2C_{Ao}k_1}\right)^2}} \right\}^{\frac{Kc}{k_1.C_{Ao}} \cdot \frac{1}{2\sqrt{\frac{Kc}{C_{Ao}} + \left\{\frac{k_1Kc + C_{Ao}k_1M}{2C_{Ao}k_1}\right\}^2}}}$$

dengan K_C : Konstanta kesetimbangan reaksi

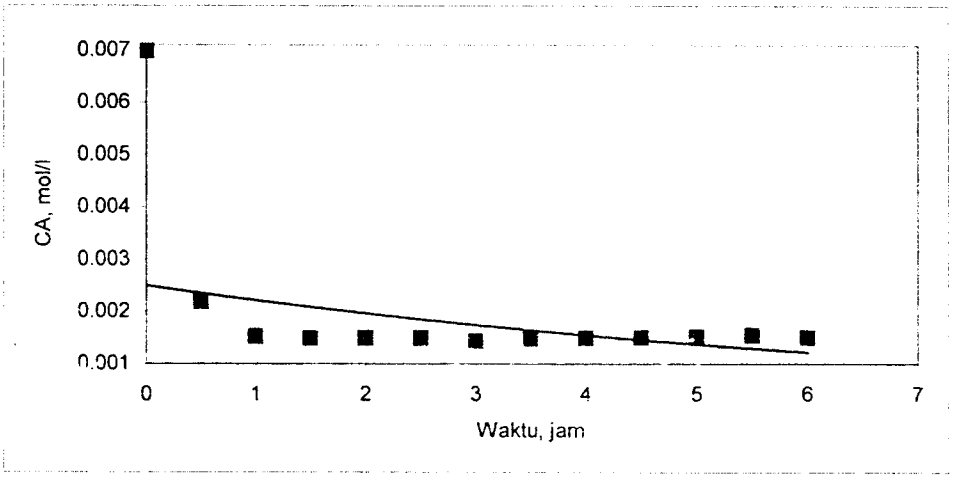
M : Mol awal CaO : Mol awal $CaCO_3$

Perbandingan data kinetika dan model eksponensial untuk suhu 800°C, 900°C dan 1000°C terlihat pada gambar 5. 6 dan 7. Pada gambar-gambar tersebut terlihat ralat model terhadap masing-masing data masih cukup besar. Besarnya ralat diperkirakan akibat adanya asumsi yang dipakai untuk mendapatkan persamaan model. Hal ini juga menunjukkan kekurang sesuaian relatif antara model dan data yang didekati.

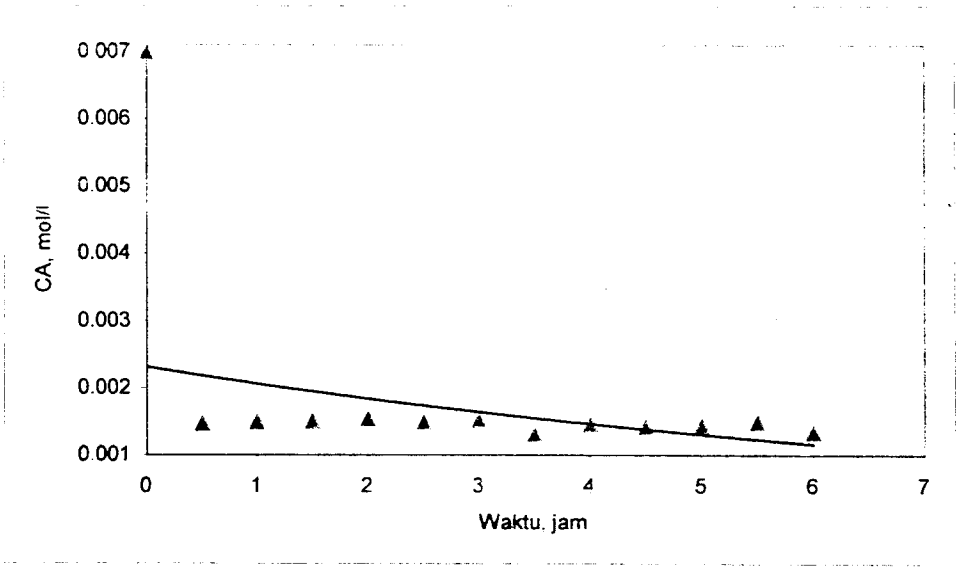


Gambar 6. Grafik pendekatan model terhadap data mol $CaCO_3$ tersisa VS waktu untuk suhu 800°C

Dari pendekatan model, diperoleh persamaan untuk konstanta kecepatan reaksi rata-rata pembentukan CaO pada berbagai suhu adalah $k_1 = 0{,}0031\ e^{-0{,}1625/RT}$ dengan nilai Kc yang diperoleh dari pengolahan data saat kesetimbangan sebesar Kc= 0,01996/dt sehingga nilai $k_2 = 0{,}155\ e^{-0{,}1625/RT}$.



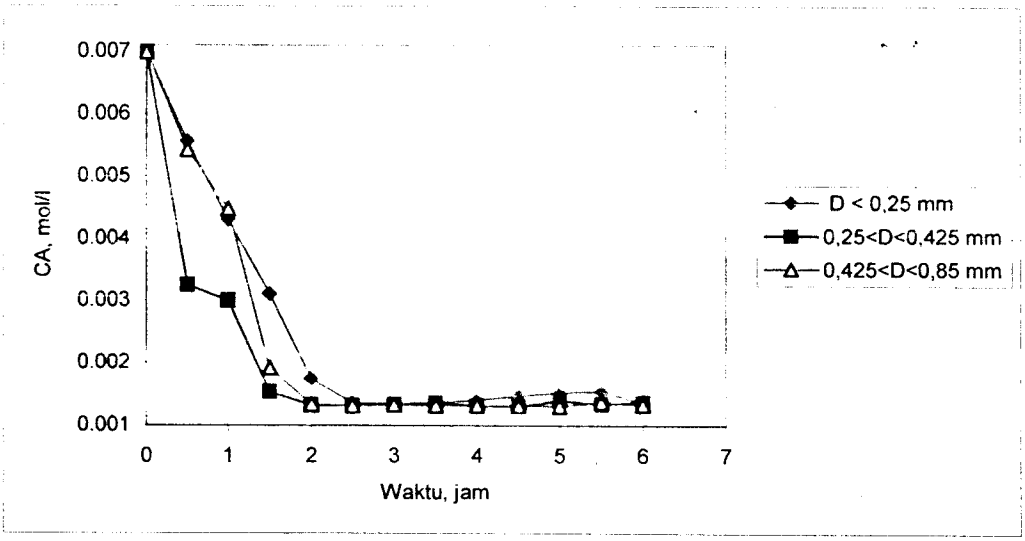
Gambar 7. Grafik pendekatan model terhadap data mol $CaCO_3$ tersisa VS waktu untuk suhu 900°C



Gambar 8. Grafik pendekatan model terhadap data mol $CaCO_3$ tersisa VS waktu untuk suhu 1000°C

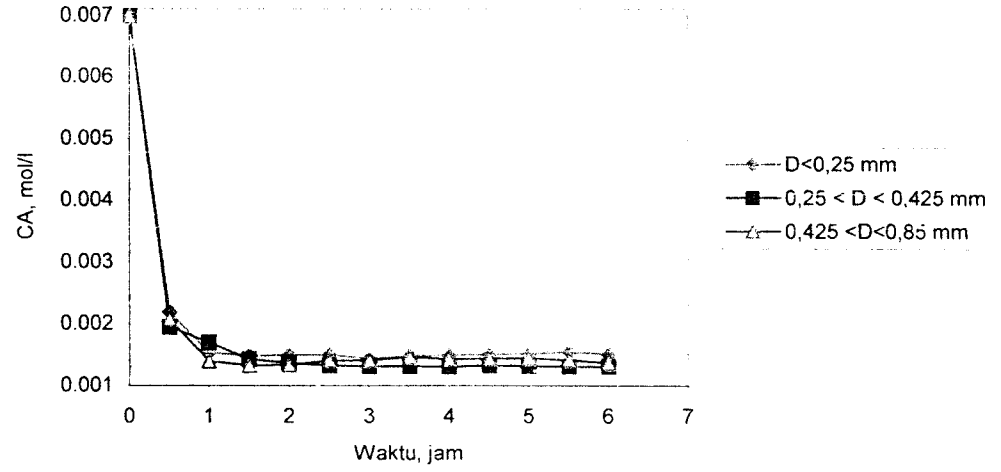
V.3. Pengaruh Ukuran Butir

Pengaruh ukuran butir batu gamping terhadap data kinetika hasil kalsinasinya pada berbagai suhu dapat dilihat pada Gambar 8, 9 dan 10. Dari gambar-gambar tersebut terlihat secara umum pengaruh perubahan ukuran butir tidak begitu signifikan berpengaruh khususnya pada kecepatan mencapai konversi maksimum menjadi CaO, hal ini diperkirakan karena ukuran butir yang dipilih tidak begitu signifikan berbeda. Semakin besar ukuran butir maka transfer panas ke bagian dalam butir akan semakin lama untuk mencapai suhu yang seragam, namun dikarenakan suhu kalsinasi yang begitu tinggi menyebabkan perbedaan ukuran butir yang tidak begitu besar tidak akan berpengaruh terhadap transfer panas. Faktor lain diperkirakan koefisian perpindahan panas atau konduktifitas panas batu gamping relatif baik yang menyebabkan suhu yang uniform pada seluruh bagian butir cepat tercapai.

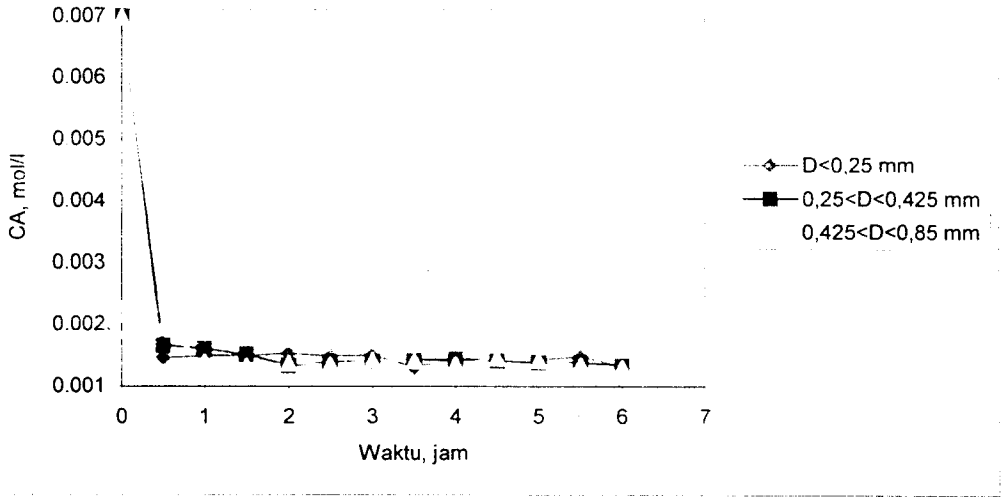


Gambar 9. Pengaruh ukuran butir batu gamping terhadap data kinetika kalsinasi pada suhu 800°C.

Khusus pada Gambar 8 terlihat fenomena yang sedikit berbeda terjadi, dimana pada saat-saat awal kalsinasi justru ukuran butir 0,25<D<0,425 lebih besar konversinya daripada ukuran butir yang lebih kecil, keanehan data ini diperkirakaan faktor alat (furnace) yang kurang baik stabilitas suhunya dan faktor kekurangtelitian dalam pengambilan data.

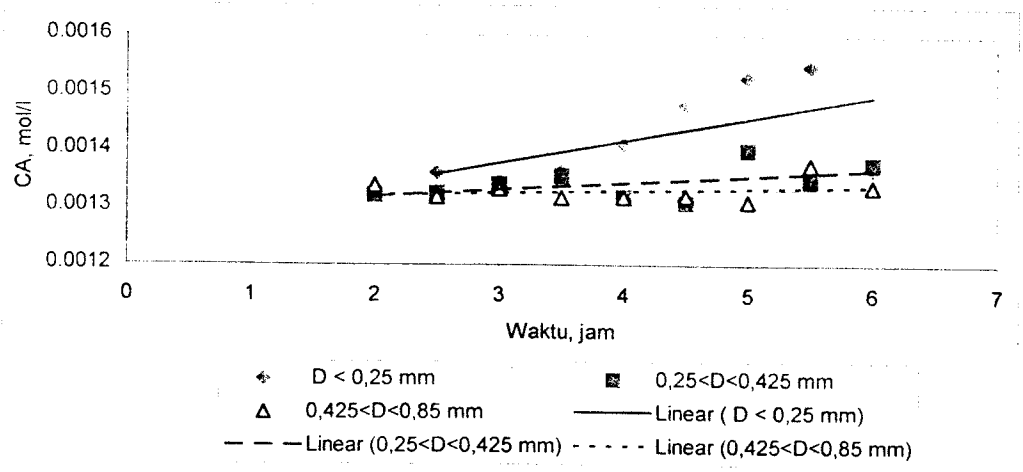


Gambar 10.Pengaruh ukuran butir batu gamping terhadap data kinetika kalsinasi pada suhu 900°C.

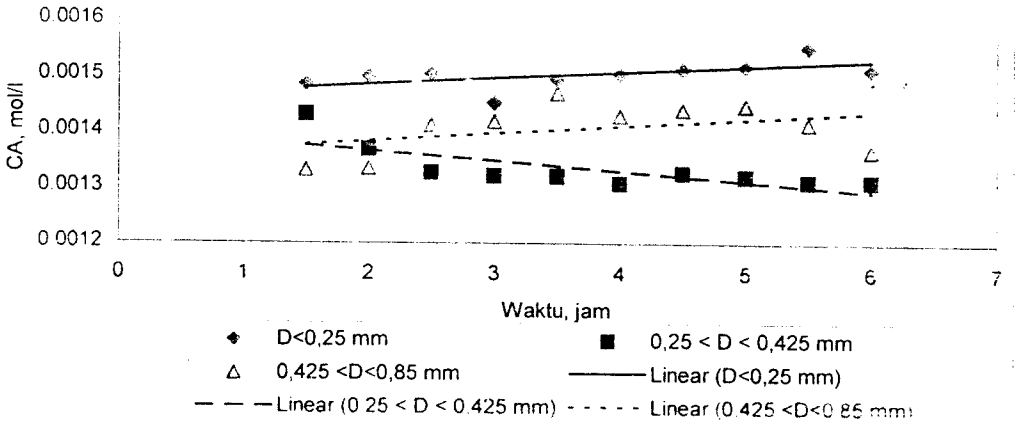


Gambar 11. Pengaruh ukuran butir batu gamping terhadap data kinetika kalsinasi pada suhu 1000°C.

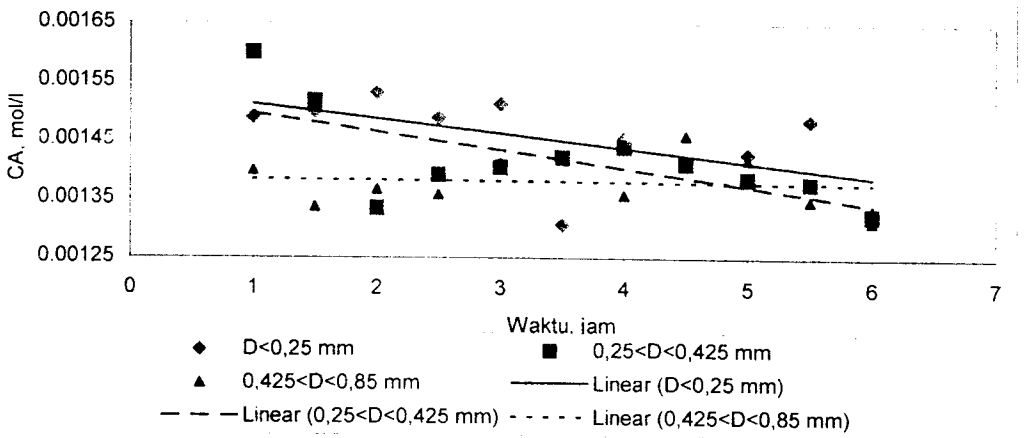
Gambar 11, 12 dan 13 memperlihatkan trend data saat tercapai kesetimbangan pada berbagai ukuran butir untuk suhu 800°C, 900°C dan 1000°C. Dari gambar-gambar tersebut secara umum tidak terlihat hubungan yang signifikan antara kestabilan data kesetimbangan dengan perubahan ukuran butir, hal ini dikarenakan data yang diperoleh tidak beraturan atau tidak memiliki kecenderungan tertentu dan trend yang ada tidak saling memperkuat.



Gambar 12. Trend data kesetimbangan pada berbagai ukuran butir suhu 800°C.



Gambar 13. Trend data kesetimbangan pada berbagai ukuran butir suhu 900°C.



Gambar 14. Trend data kesetimbangan pada berbagai ukuran butir suhu 1000°C.

V.4. Penentuan Waktu Kalsinasi Optimum

Waktu kalsinasi optimum diperoleh dengan cara membandingkan data kinetika kalsinasi pada masing-masing suhu dan ukuran butir yang telah diambil, termasuk trend data kesetimbangannya. Dari analisa pengaruh ukuran butir terhadap data kinetika kalsinasi ternyata tidak terlihat pengaruh ukuran yang signifikan antara perubahan ukuran butir dengan data kinetika, namun berdasar pengaruh suhu terdapat hubungan yang cukup signifikan antara perubahan suhu dengan kecepatan mencapai konversi maksimum.

Suhu kalsinasi 800 ^{0}C memperlihatkan kecepatan konversi yang relatif rendah dibanding suhu kalsinasi 900 ^{0}C dan 1000 ^{0}C untuk mencapai konversi maksimum. Suhu kalsinasi 1000^{0}C menunjukkan trend data kesetimbangan dan stabilitas yang kurang baik dari pada suhu kalsinasi 900^{0}C namun memperlihatkan kecepatan mencapai konversi maksimum terbaik

Dari analisa data di atas dan pertimbangan efektifitas proses dan efisiensi biaya energi maka dapat disimpulkan suhu kalsinasi optimum dipilih pada 900 ^{0}C dengan waktu kalsinasi 1 jam. Namun untuk aplikasi praktis dan komersial disarankan waktu kalsinasi lebih dari itu setidaknya 3 jam mengingat jumlah bahan yang dikalsinasi yang relatif sangat besar dan faktor keseragaman suhu di ruang kalsinator.