

STUDI PENGARUH TINGKAT PEMANASAN TERHADAP NILAI *HARDGROVE GRINDABILITY INDEX* (HGI) PADA RANK BATUBARA

Wita Rebekka Manalu^{1*}, Windhu Nugroho¹, Shalaho Dina Devy¹

¹Program Studi S1 Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman
Jl. Sambaliung No. 9, Kampus Gunung Kelua, Samarinda

*Email: wita.manalu.wm@gmail.com

Abstrak

Hardgrove Grindability Index (HGI) merupakan ukuran banyaknya energi yang digunakan untuk menggerus batubara. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh tingkat pemanasan terhadap nilai HGI pada rank batubara. Pengolahan data penelitian ini menggunakan perangkat lunak SPSS 23 dan Minitab 16. Faktor percobaan yang digunakan adalah suhu pemanasan 50 °C, 100 °C, 150 °C, 200 °C dan waktu pemanasan 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit. Indeks ketergerusan ini dapat dipengaruhi oleh suhu dan waktu pemanasan. Pengaruh suhu dan waktu pemanasan diperoleh melalui analisis korelasi dan regresi berganda. Selanjutnya kondisi optimum nilai HGI dianalisis menggunakan metode taguchi. Hasil dari penelitian ini didapatkan pada batubara bituminus, subbituminus, dan lignit, semakin besar suhu dan waktu pemanasan, semakin sukar batubara dapat digerus. Hasil uji ANOVA menunjukkan terdapat pengaruh yang signifikan antara suhu dan waktu pemanasan terhadap nilai HGI, juga interaksi keduanya. Kondisi optimum nilai HGI pada kombinasi suhu dan waktu pemanasan berdasarkan angka HGI tertinggi dengan metode Taguchi menunjukkan kondisi optimum suhu dan waktu pemanasan pada batubara bituminus 100 °C dan 60 menit dengan nilai HGI 46,45 dan 44,28, subbituminus 150 °C dan 60 menit dengan nilai HGI 44,65 dan 44,44, serta lignit 150 °C dan 60 menit dengan nilai HGI 52,23 dan 50,78.

Kata kunci: HGI, optimum, suhu pemanasan, waktu pemanasan

1. PENDAHULUAN

Kekerasan batubara menunjukkan sifat kemudahan digerus dan sampai seberapa jauh batubara merusak alat penggerus. Ukuran untuk kemudahan suatu batubara dapat digerus halus untuk digunakan sebagai *pulverised fuel* dinyatakan dengan indeks *hardgrove* atau *Hardgrove Grindability Index* yang disingkat dengan HGI. Besar kecilnya indeks ini akan tergantung pada sifat-sifat fisika batubara dan sifat-sifat mekanis dari mesin *hardgrove* (Muchjidin, 2006).

Ketergerusan adalah indeks kemudahan relatif dimana batubara dapat dihancurkan dibandingkan dengan batubara yang dipilih sebagai standar. Metode *hardgrove* (ASTM D-409) telah diterima sebagai metode standar ketergerusan batubara oleh mesin *hardgrove*. Ada juga metode uji untuk menentukan *hardgrove grindability index* dari kokas minyak bumi (ASTM D-5003) yang mungkin berlaku untuk batubara yang sangat keras jika metode uji biasa (ASTM D-409) tidak menghasilkan reproduktivitas dan pengulangan yang sesuai. Modifikasi metode uji yang cocok untuk kokas minyak bumi mungkin diperlukan (Speight, 2005).

Tes standar untuk mengevaluasi sifat penghancuran batubara adalah ASTM D-409, ketergerusan batubara dengan metode mesin *hardgrove*. Metode *hardgrove* dikembangkan untuk mengukur kuantitas material yang dapat lolos saringan 200 mesh. 50 gram sampel batubara kering udara (antara 16 dan 30 mesh) ditempatkan di mesin *hardgrove* (pabrik miniatur) dengan delapan bola baja 1 inci. Jenis bobot teratas ditempatkan pada bola dan muatan batubara dan diputar 60 putaran. Jumlah batubara bubuk melewati 200 mesh kemudian dibandingkan dengan sampel batubara standar untuk mendapatkan indeks. Sementara *grindability* bukan merupakan sifat bawaan dari batubara, namun mewakili kemudahan relatif penggilingan untuk berbagai sifat batubara (Edgar, 1983).

Menurut Sukandarrumidi (2009), nilai *Hardgrove Grindability Index* (HGI) diperoleh dengan menggunakan rumus :

$$HGI = 13,6 + 6,93 W \quad (1)$$

dimana W adalah berat dalam gram dari batubara halus berukuran 200 mesh.

Menurut Muchidin (2006), ada empat golongan zat mineral yang berpengaruh pada nilai HGI, yakni lempung dan sulfat, oksida-oksida, kuarsa, dan silikat, pirit dan sulfida lainnya, serta karbonat-karbonat. Mineral-mineral oksida-oksida, kuarsa, dan silikat adalah paling keras (jadi menurunkan nilai HGI), sedangkan mineral lempung dan sulfat paling lunak (jadi menaikkan nilai HGI).

Perubahan termal dan oksidasi dimana *mineral matter* ikut serta selama pembakaran batubara sangat kompleks, tetapi untungnya, sebagian besar reaksi cukup dipahami dengan jelas dan telah dimungkinkan untuk memperoleh formula yang memungkinkan kandungan *mineral matter* dari batubara asli dihitung berdasarkan jumlah abu yang dihasilkan pada pembakaran, bersama dengan jumlah pirit sulfur, klorin, dan karbonat yang ada dalam batubara. Rumus ini telah disimpulkan dari pertimbangan hubungan stoikiometri yang ada antara reaktan dan produk dalam reaksi dari jenis berikut, yang semuanya berlangsung selama pembakaran batubara dan yang bersama-sama menjelaskan secara praktis semua reaksi anorganik yang terlibat dalam proses tersebut (Speight, 2005).

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui korelasi suhu dan waktu pemanasan terhadap nilai HGI pada *rank* batubara dengan menggunakan uji *Pearson Correlation*, mengetahui korelasi suhu pemanasan terhadap nilai HGI dengan waktu pemanasan tetap pada *rank* batubara dengan menggunakan uji *Pearson Correlation*, mengetahui korelasi waktu pemanasan terhadap nilai HGI dengan suhu pemanasan tetap pada *rank* batubara dengan menggunakan uji *Pearson Correlation*, mengetahui pengaruh suhu dan waktu pemanasan terhadap nilai HGI pada *rank* batubara dengan menggunakan uji ANOVA, serta mengetahui kondisi optimum nilai HGI pada *rank* batubara dengan menggunakan metode Taguchi.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

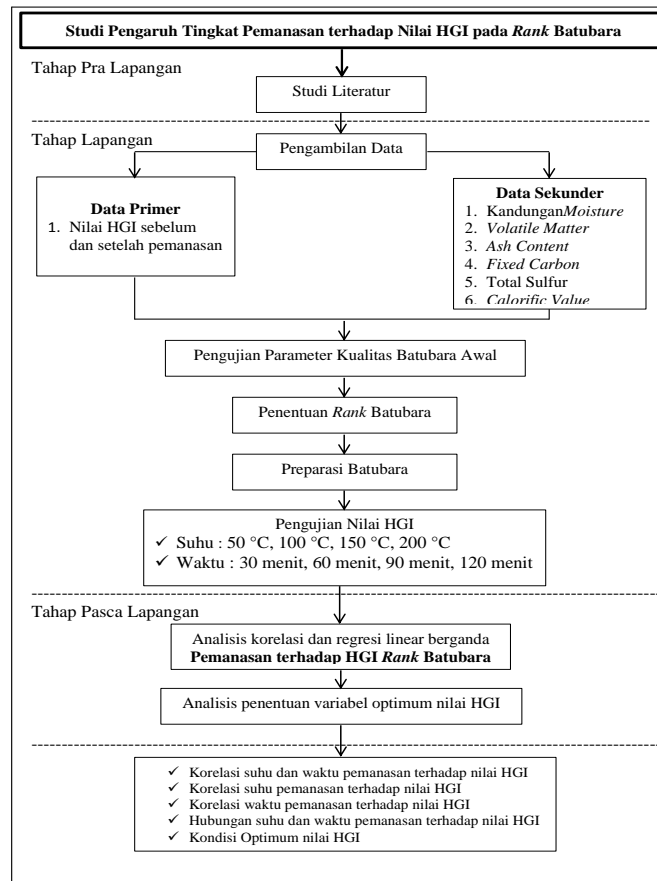
Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Mei 2019 sampai Juni 2019 di Laboratorium PT. Jasa Mutu Mineral Indonesia.

2.2 Variabel Penelitian

Penelitian ini terdiri atas variabel bebas yaitu suhu dan waktu pemanasan, dan variabel terikat yaitu nilai HGI. Pengambilan data HGI setelah pemanasan dilakukan pada sampel batubara dengan suhu pemanasan 50 °C, 100 °C, 150 °C, dan 200 °C, dan waktu pemanasan 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit. Pengujian dilakukan menggunakan mesin *Hardgrove*.

2.3 Analisis Data

Diagram alir analisis data diperlihatkan pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Penelitian

3.1.1. Batubara Bituminus

Pada analisis nilai HGI pada sampel batubara bituminus berdasarkan standar ASTM diperoleh nilai HGI awal (sebelum pemanasan) adalah 40,312. Nilai HGI setelah pemanasan ditunjukkan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Nilai HGI dengan Pemanasan pada Batubara Bituminus

Waktu		Suhu			
		50° C	100° C	150° C	200° C
30'	Uji A	41,298	44,323	46,361	46,164
	Uji B	41,561	44,454	45,966	44,125
	Rata-Rata	41,429	44,389	46,164	45,144
60'	Uji A	41,676	46,098	47,742	42,021
	Uji B	41,772	46,164	47,150	41,561
	Rata-Rata	41,724	46,131	47,446	41,791
90'	Uji A	41,627	47,610	44,191	39,062
	Uji B	41,890	47,281	43,731	38,076
	Rata-Rata	41,758	47,446	43,961	38,569
120'	Uji A	44,586	48,136	43,205	37,353
	Uji B	44,323	47,544	43,139	37,090
	Rata-Rata	44,454	47,840	43,172	37,221

3.1.2. Batubara Subbituminus

Analisis nilai HGI pada sampel batubara subbituminus berdasarkan standar ASTM diperoleh nilai HGI awal (sebelum pemanasan) adalah 40,542. Nilai HGI setelah pemanasan ditunjukkan pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Nilai HGI dengan Pemanasan pada Batubara Subbituminus

Waktu		Suhu			
		50° C	100° C	150° C	200° C
30'	Uji A	42,219	42,547	44,125	42,679
	Uji B	41,890	42,679	44,077	42,682
	Rata-Rata	42,055	42,613	44,101	42,681
60'	Uji A	43,862	44,101	44,454	45,835
	Uji B	43,928	44,125	44,125	45,177
	Rata-Rata	43,895	44,113	44,289	45,476
90'	Uji A	44,325	43,862	46,230	38,471
	Uji B	43,928	44,980	46,164	37,813
	Rata-Rata	44,127	44,421	46,197	38,142
120'	Uji A	44,454	45,309	44,454	35,380
	Uji B	44,717	44,520	43,534	35,643
	Rata-Rata	44,586	44,915	43,994	35,511

3.1.3. Batubara Lignit

Analisis nilai HGI pada sampel batubara lignit berdasarkan standar ASTM diperoleh nilai HGI awal (sebelum pemanasan) adalah 42,218. Nilai HGI setelah pemanasan ditunjukkan pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Nilai HGI dengan Pemanasan pada Batubara Lignit

Waktu		Suhu			
		50° C	100° C	150° C	200° C
30'	Uji A	46,229	48,596	48,651	47,610
	Uji B	47,150	47,479	48,586	46,492
	Rata-Rata	46,689	48,037	48,619	47,051
60'	Uji A	48,454	48,859	52,213	53,992
	Uji B	48,388	48,794	51,753	53,857
	Rata-Rata	48,421	48,826	51,983	53,889
90'	Uji A	48,229	53,857	55,303	36,169
	Uji B	49,150	54,383	55,369	36,564
	Rata-Rata	48,690	54,120	55,336	36,366
120'	Uji A	48,980	55,961	53,331	35,117
	Uji B	48,980	56,618	52,673	34,526
	Rata-Rata	48,980	56,289	53,002	34,821

3.2. Analisis Korelasi

Analisis korelasi mencoba mengukur kekuatan hubungan antara dua variabel melalui sebuah bilangan yang disebut koefisien korelasi. Berikut ditunjukkan hasil uji korelasi antar parameter menggunakan SPSS 23.

3.2.1. Batubara Bituminus

Tabel 4. Korelasi Tiga Variabel Proses terhadap Nilai HGI Bituminus

		Suhu Pemanasan	Waktu Pemanasan	Nilai HGI
Suhu Pemanasan	<i>Pearson Correlation</i>	1	0,000	-0,230
	<i>Sig, (2-tailed)</i>		1,000	0,205
	N	32	32	32
Waktu Pemanasan	<i>Pearson Correlation</i>	,000	1	-0,172
	<i>Sig, (2-tailed)</i>	1,000		0,346
	N	32	32	32
Nilai HGI	<i>Pearson Correlation</i>	-0,230	-0,172	1
	<i>Sig, (2-tailed)</i>	0,205	0,346	
	N	32	32	32

Dari *output* SPSS pada Tabel 4 diatas, korelasi antar variabel dapat dilihat dengan 3 interpretasi :

1. Angka koefisien korelasi
Koefisien korelasi waktu pemanasan yaitu -0,172 dibandingkan dengan suhu pemanasan -0,230. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tingkatan waktu pemanasan lebih berdampak terhadap perubahan nilai HGI dibandingkan dengan tingkatan suhu pemanasan.
2. Signifikansi hubungan antar variabel
Pada percobaan ini dipilih signifikansi 0,05 untuk memperoleh kebenaran 95%. Signifikansi suhu pemanasan dan nilai HGI 0,205 > 0,05, yang menunjukkan terdapat korelasi antara suhu pemanasan terhadap nilai HGI sebesar 79,5 %. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan waktu pemanasan, dimana signifikansi korelasi waktu pemanasan dengan nilai HGI 0,346 > 0,05, yang juga menunjukkan masih terdapat korelasi meskipun lebih kecil sebesar 65,4 %.
3. Melihat arah korelasi
Penafsiran hasil suhu pemanasan pada angka -0,230 mempunyai korelasi yang negatif atau berbanding terbalik terhadap nilai HGI, artinya semakin besar suhu pemanasan maka nilai HGI semakin kecil. Begitu pun halnya dengan waktu pemanasan yang memiliki angka korelasi -0,172 yang juga mempunyai korelasi yang negatif atau berbanding terbalik terhadap nilai HGI.

Tabel 5. Korelasi Parsial Tingkat Variabel Proses terhadap Nilai HGI Bituminus

NO	Variasi Perlakuan	Koefisien Korelasi
1	Pengujian suhu tetap 50 °C terhadap berbagai tingkatan waktu	0,827
2	Pengujian suhu tetap 100 °C terhadap berbagai tingkatan waktu	0,960
3	Pengujian suhu tetap 150 °C terhadap berbagai tingkatan waktu	-0,811
4	Pengujian suhu tetap 200 °C terhadap berbagai tingkatan waktu	-0,967
5	Pengujian waktu tetap 30 menit terhadap berbagai tingkatan suhu	0,785
6	Pengujian waktu tetap 60 menit terhadap berbagai tingkatan suhu	0,066
7	Pengujian waktu tetap 90 menit terhadap berbagai tingkatan suhu	-0,449
8	Pengujian waktu tetap 120 menit terhadap berbagai tingkatan suhu	-0,768

Berdasarkan tabel diatas dapat kita simpulkan bahwa pada suhu tetap 50 °C dan 100 °C, korelasi waktu pemanasan terhadap nilai HGI bernilai positif. Artinya bahwa pada suhu tetap 50 °C dan 100 °C, peningkatan waktu pemanasan membuat nilai HGI semakin besar. Namun pada suhu tetap 150 °C dan 200 °C, korelasi waktu pemanasan terhadap nilai HGI bernilai negatif. Artinya bahwa pada suhu tetap 150 °C dan 200 °C, peningkatan waktu pemanasan membuat nilai HGI semakin kecil.

Pada perlakuan waktu tetap 30 menit dan 60 menit, korelasi suhu pemanasan terhadap nilai HGI bernilai positif. Artinya bahwa pada waktu tetap 30 menit dan 60 menit, peningkatan suhu pemanasan membuat nilai HGI semakin besar. Namun pada waktu tetap 90 menit dan 120 menit, korelasi suhu pemanasan terhadap nilai HGI bernilai negatif. Artinya bahwa pada waktu tetap 90 menit dan 120 menit, peningkatan suhu pemanasan membuat nilai HGI semakin kecil.

Tabel 6. Koefisien Korelasi Variabel Bebas terhadap Nilai HGI Bituminus

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized	t	Sig.
	B	Std. Error	Coefficients Beta		
1					
(Constant)	46,393	1,789		25,937	0,000
Suhu Pemanasan	-0,625	0,482	-0,230	-1,295	0,206
Waktu Pemanasan	-0,467	0,482	-0,172	-0,968	0,341

Berdasarkan Tabel 6 diatas dapat dirumuskan persamaan regresi linear berganda untuk menentukan hubungan serentak tiap variabel bebas (suhu pemanasan dan waktu pemanasan) terhadap variabel terikat (nilai HGI) dinyatakan sebagai berikut :

$$Y = 46,393 - 0,625X_1 - 0,467X_2 \quad (2)$$

3.2.2. Batubara Subbituminus

Tabel 7. Korelasi Tiga Variabel Proses terhadap Nilai HGI Subbituminus

		Suhu Pemanasan	Waktu Pemanasan	Nilai HGI
Suhu Pemanasan	<i>Pearson Correlation</i>	1	0,000	-0,378*
	<i>Sig. (2-tailed)</i>		1,000	0,330
	N	32	32	32
Waktu Pemanasan	<i>Pearson Correlation</i>	0,000	1	-0,129
	<i>Sig. (2-tailed)</i>	1,000		0,482
	N	32	32	32
Nilai HGI	<i>Pearson Correlation</i>	-0,378*	-0,129	1
	<i>Sig. (2-tailed)</i>	0,330	0,482	
	N	32	32	32

Dari *output* SPSS pada Tabel 7 diatas, korelasi antar variabel dapat dilihat dengan 3 interpretasi :

1. Angka koefisien korelasi

Koefisien korelasi waktu pemanasan yaitu -0,129 dibandingkan dengan suhu pemanasan -0,378. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tingkatan waktu pemanasan lebih berdampak terhadap perubahan nilai HGI dibandingkan dengan tingkatan suhu pemanasan.

2. Signifikansi hubungan antar variable

Pada percobaan ini dipilih signifikansi 0 untuk memperoleh kebenaran 95%. Signifikansi suhu pemanasan dan nilai HGI 0,330 > 0,05, yang menunjukkan terdapat korelasi antara suhu pemanasan terhadap nilai HGI sebesar 67 %. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan waktu pemanasan, dimana signifikansi korelasi waktu pemanasan dengan nilai HGI 0,482 > 0,05, yang juga menunjukkan masih terdapat korelasi meskipun lebih kecil sebesar 51,8 %.

3. Melihat arah korelasi

Penafsiran hasil suhu pemanasan pada angka -0,378 mempunyai korelasi yang negatif atau berbanding terbalik terhadap nilai HGI, artinya semakin besar suhu pemanasan maka nilai HGI semakin kecil. Begitu pun halnya dengan waktu pemanasan yang memiliki angka korelasi -0,129 yang juga mempunyai korelasi yang negatif atau berbanding terbalik terhadap nilai HGI.

Tabel 8. Korelasi Parsial Tingkat Variabel Proses terhadap Nilai HGI Subbituminus

NO	Variasi Perlakuan	Koefisien Korelasi
1	Pengujian suhu tetap 50 °C terhadap berbagai tingkatan waktu	0,899
2	Pengujian suhu tetap 100 °C terhadap berbagai tingkatan waktu	0,872
3	Pengujian suhu tetap 150 °C terhadap berbagai tingkatan waktu	0,190
4	Pengujian suhu tetap 200 °C terhadap berbagai tingkatan waktu	-0,830
5	Pengujian waktu tetap 30 menit terhadap berbagai tingkatan suhu	0,495
6	Pengujian waktu tetap 60 menit terhadap berbagai tingkatan suhu	0,859
7	Pengujian waktu tetap 90 menit terhadap berbagai tingkatan suhu	-0,592
8	Pengujian waktu tetap 120 menit terhadap berbagai tingkatan suhu	-0,803

Berdasarkan tabel diatas dapat kita simpulkan bahwa pada suhu tetap 50 °C, 100 °C, dan 150 °C korelasi waktu pemanasan terhadap nilai HGI bernilai positif. Artinya bahwa pada suhu tetap 50 °C, 100 °C, dan 150 °C peningkatan waktu pemanasan membuat nilai HGI semakin besar. Namun pada suhu tetap 200 °C, korelasi waktu pemanasan terhadap nilai HGI bernilai negatif. Artinya bahwa pada suhu tetap 200 °C, peningkatan waktu pemanasan membuat nilai HGI semakin kecil.

Pada perlakuan waktu tetap 30 menit dan 60 menit, korelasi suhu pemanasan terhadap nilai HGI bernilai positif. Artinya bahwa pada waktu tetap 30 menit dan 60 menit, peningkatan suhu pemanasan membuat nilai HGI semakin besar. Namun pada waktu tetap 90 menit dan 120 menit, korelasi suhu pemanasan terhadap nilai HGI bernilai negatif. Artinya bahwa pada waktu tetap 90 menit dan 120 menit, peningkatan suhu pemanasan membuat nilai HGI semakin kecil.

Tabel 9. Koefisien Korelasi Variabel Bebas terhadap Nilai HGI Subbituminus

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		
	B	Std. Error	Beta	t	Sig.
1 (Constant)	46,209	1,501		30,777	0,000
Suhu Pemanasan	-0,899	0,405	-0,378	-2,219	0,340
Waktu Pemanasan	-0,306	0,405	-0,129	-756	0,456

Berdasarkan Tabel 9 diatas dapat dirumuskan persamaan regresi linear berganda untuk menentukan hubungan serentak tiap variabel bebas (suhu dan waktu pemanasan) terhadap variabel terikat (nilai HGI) dinyatakan sebagai berikut :

$$Y = 46,209 - 0,899X_1 - 0,306X_2 \quad (3)$$

3.2.3. Batubara Lignit

Tabel 10. Korelasi Tiga Variabel Proses terhadap Nilai HGI Lignit

		Suhu Pemanasan	Waktu Pemanasan	Nilai HGI
Suhu Pemanasan	<i>Pearson Correlation</i>	1	0,000	-0,289
	<i>Sig. (2-tailed)</i>		1,000	0,108
	N	32	32	32
Waktu Pemanasan	<i>Pearson Correlation</i>	0,000	1	-0,003
	<i>Sig. (2-tailed)</i>	1,000		0,988
	N	32	32	32
Nilai HGI	<i>Pearson Correlation</i>	-0,289	-0,003	1
	<i>Sig. (2-tailed)</i>	0,108	0,988	
	N	32	32	32

Dari *output* SPSS pada Tabel 10 diatas, korelasi antar variabel dapat dilihat dengan 3 interpretasi :

1. Angka koefisien korelasi
Koefisien korelasi waktu pemanasan yaitu -0,003 dibandingkan dengan suhu pemanasan -0,289. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tingkatan waktu pemanasan lebih berdampak terhadap perubahan nilai HGI dibandingkan dengan tingkatan suhu pemanasan.
2. Signifikansi hubungan antar variable
Pada percobaan ini dipilih signifikansi 0,05 untuk memperoleh kebenaran 95%. Signifikansi suhu pemanasan dan nilai HGI $0,108 > 0,05$, yang menunjukkan terdapat korelasi antara suhu pemanasan terhadap nilai HGI sebesar 89,2 %. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan waktu pemanasan, dimana signifikansi korelasi waktu pemanasan dengan nilai HGI $0,988 > 0,05$, yang juga menunjukkan masih terdapat korelasi meskipun sangat kecil sebesar 1,2 %.
3. Melihat arah korelasi
Penafsiran hasil suhu pemanasan pada angka -0,289 mempunyai korelasi yang negatif atau berbanding terbalik terhadap nilai HGI, artinya semakin besar suhu pemanasan maka nilai HGI semakin kecil. Begitu pun halnya dengan waktu pemanasan yang memiliki angka korelasi -0,003 yang juga mempunyai korelasi yang negatif atau berbanding terbalik terhadap nilai HGI.

Tabel 11. Korelasi Parsial Tingkat Variabel Proses terhadap Nilai HGI Lignit

NO	Variasi Perlakuan	Koefisien Korelasi
1	Pengujian suhu tetap 50 °C terhadap berbagai tingkatan waktu	0,841
2	Pengujian suhu tetap 100 °C terhadap berbagai tingkatan waktu	0,960
3	Pengujian suhu tetap 150 °C terhadap berbagai tingkatan waktu	0,761
4	Pengujian suhu tetap 200 °C terhadap berbagai tingkatan waktu	-0,772
5	Pengujian waktu tetap 30 menit terhadap berbagai tingkatan suhu	0,208
6	Pengujian waktu tetap 60 menit terhadap berbagai tingkatan suhu	0,965
7	Pengujian waktu tetap 90 menit terhadap berbagai tingkatan suhu	-0,532
8	Pengujian waktu tetap 120 menit terhadap berbagai tingkatan suhu	-0,625

Berdasarkan tabel diatas dapat kita simpulkan bahwa pada suhu tetap 50 °C, 100 °C, dan 150 °C korelasi waktu pemanasan terhadap nilai HGI bernilai positif. Artinya bahwa pada suhu tetap 50 °C, 100 °C, dan 150 °C peningkatan waktu pemanasan membuat nilai HGI semakin besar. Namun pada suhu tetap 200 °C, korelasi waktu pemanasan terhadap nilai HGI bernilai negatif. Artinya bahwa pada suhu tetap 200 °C, peningkatan waktu pemanasan membuat nilai HGI semakin kecil.

Pada perlakuan waktu tetap 30 menit dan 60 menit, korelasi suhu pemanasan terhadap nilai HGI bernilai positif. Artinya bahwa pada waktu tetap 30 menit dan 60 menit, peningkatan suhu pemanasan membuat nilai HGI semakin besar. Namun pada waktu tetap 90 menit dan 120 menit, korelasi suhu pemanasan terhadap nilai HGI bernilai negatif. Artinya bahwa pada waktu tetap 90 menit dan 120 menit, peningkatan suhu pemanasan membuat nilai HGI semakin kecil.

Tabel 12. Koefisien Korelasi Variabel Bebas terhadap Nilai HGI Lignit

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	52,618	3,428		15,349	0,000
Suhu Pemanasan	-1,505	0,924	-0,289	-1,627	0,114
Waktu Pemanasan	-0,014	,924	-0,003	-0,015	0,988

Berdasarkan Tabel 12 diatas dapat dirumuskan persamaan regresi linear berganda untuk menentukan hubungan serentak tiap variabel bebas (suhu dan waktu pemanasan) terhadap variabel terikat (nilai HGI) dinyatakan sebagai berikut :

$$Y = 52,618 - 1,505X_1 - 0,014X_2 \quad (4)$$

3.3. Analisis Signifikansi

Uji signifikansi melalui pengujian ANOVA ini bertujuan untuk mengetahui apakah ada pengaruh dari berbagai variabel yang diuji terhadap nilai HGI. Dalam penelitian ini, nilai *Confidence level* yang digunakan adalah 95 % sehingga diperoleh nilai $\alpha = 0,05$.

3.3.1. Batubara Bituminus

Tabel 13. Hasil Pengujian ANOVA dengan SPSS melalui *Test of Between – Subjects Effect* Batubara Bituminus

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	290,816 ^a	15	19,388	90,837	0,000
Intercept	61012,231	1	61012,231	285860,446	0,000
Suhu	165,825	3	55,275	258,979	0,000
Waktu	12,223	3	4,074	19,089	0,000
Suhu * Waktu	112,769	9	12,530	58,706	0,000
Error	3,415	16	0,213		
Total	61306,463	32			
Corrected Total	294,231	31			

a. *R Squared* = 0,988 (*Adjusted R Squared* = 0,978)

Seperti terlihat pada Tabel 13 bahwa F_{hitung} masing-masing variabel lebih besar daripada F_{tabel} (Chaniago Junaidi, 2010; Lampiran C), dimana suhu pemanasan yang mempunyai $F_{hitung} > F_{tabel}$ ($258,979 > 3,24$), waktu pemanasan mempunyai $F_{hitung} > F_{tabel}$ ($19,089 > 3,24$), serta interaksi kedua variabel bebas mempunyai $F_{hitung} > F_{tabel}$ ($58,706 > 2,54$). Hal ini menunjukkan adanya pengaruh antara kedua variabel terhadap nilai HGI. Juga interaksi kedua variabel bebas yakni suhu pemanasan dan waktu pemanasan menunjukkan adanya pengaruh terhadap nilai HGI.

3.3.2. Batubara Subbituminus

Tabel 14. Hasil Pengujian ANOVA dengan SPSS melalui *Test of Between – Subjects Effect* Batubara Subbituminus

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	224,153 ^a	15	14,944	115,891	0,000
Intercept	59710,090	1	59710,090	463067,805	0,000
Suhu	83,825	3	27,942	216,694	0,000
Waktu	20,633	3	6,878	53,337	0,000
Suhu * Waktu	119,696	9	13,300	103,142	0,000
Error	2,063	16	0,129		
Total	59936,306	32			
Corrected Total	226,216	31			

a. *R Squared* = 0,991 (*Adjusted R Squared* = 0,982)

Seperti terlihat pada Tabel 14 bahwa F_{hitung} masing-masing variabel lebih besar daripada F_{tabel} (Chaniago Junaidi, 2010; Lampiran C), dimana suhu pemanasan mempunyai $F_{hitung} > F_{tabel}$ ($216,694 > 3,24$), waktu pemanasan yang mempunyai $F_{hitung} > F_{tabel}$ ($53,337 > 3,24$), serta interaksi kedua variabel bebas mempunyai $F_{hitung} > F_{tabel}$ ($13,300 > 2,54$). Hal ini menunjukkan adanya pengaruh antara kedua variabel terhadap nilai HGI. Juga interaksi kedua variabel bebas yakni suhu dan waktu pemanasan menunjukkan adanya pengaruh terhadap nilai HGI.

3.3.3. Batubara Lignit

Tabel 15. Hasil Pengujian ANOVA dengan SPSS melalui *Test of Between – Subjects Effect* Batubara Lignit

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1078,924 ^a	15	71,928	378,092	0,000
Intercept	76275,685	1	76275,685	400944,713	0,000
Suhu	435,524	3	145,175	763,114	0,000
Waktu	45,618	3	15,206	79,931	0,000
Suhu* Waktu	597,782	9	66,420	349,139	0,000
Error	3,044	16	0,190		
Total	77357,653	32			
Corrected Total	1081,968	31			

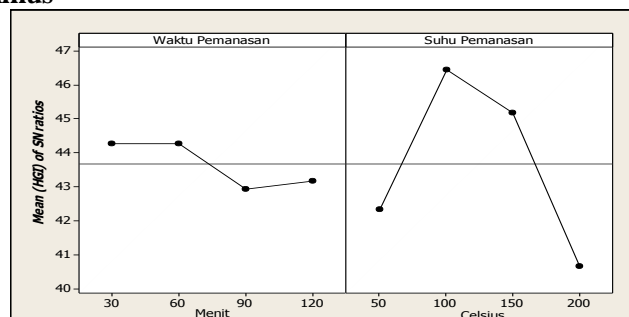
a. R Squared = 0,997 (Adjusted R Squared = 0,995)

Seperti terlihat pada Tabel 15 bahwa F_{hitung} masing-masing variabel lebih besar daripada F_{tabel} (Chaniago Junaidi, 2010; Lampiran C), dimana suhu pemanasan mempunyai $F_{hitung} > F_{tabel}$ ($763,114 > 3,24$), waktu pemanasan yang mempunyai $F_{hitung} > F_{tabel}$ ($79,931 > 3,24$), serta interaksi kedua variabel bebas mempunyai $F_{hitung} > F_{tabel}$ ($349,139 > 2,54$). Dari hipotesis diatas, maka H_0 ditolak. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh antara kedua variabel terhadap nilai HGI. Juga interaksi kedua variabel bebas yakni suhu dan waktu pemanasan menunjukkan adanya pengaruh terhadap nilai HGI.

3.4. Penentuan Kondisi Optimum

Pada penentuan variabel optimum terhadap suatu respon dilakukan analisis menggunakan *signal to noise ratio* (SNR) dengan metode taguchi. Pada analisis ini menggunakan *software* Minitab 16 dengan menentukan karakteristik kualitas dengan menggunakan *large is better* (LBT).

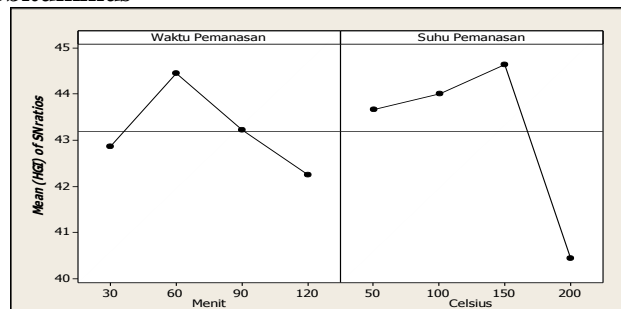
3.4.1. Batubara Bituminus



Gambar 1. Main Effect Plot untuk Nilai HGI (SN ratios) Batubara Bituminus

Berdasarkan **Gambar 1** dapat diketahui bahwa tingkatan ke-2 pada faktor suhu pemanasan pada suhu 100 °C memberikan pengaruh terhadap nilai HGI yang terbesar daripada tingkatan lainnya yaitu sebesar 46,45. Begitu juga halnya pada faktor waktu pemanasan yang memiliki nilai HGI yang lebih besar daripada tingkatan yang lainnya pada tingkatan ke-2 (60 menit) yaitu sebesar 44,28.

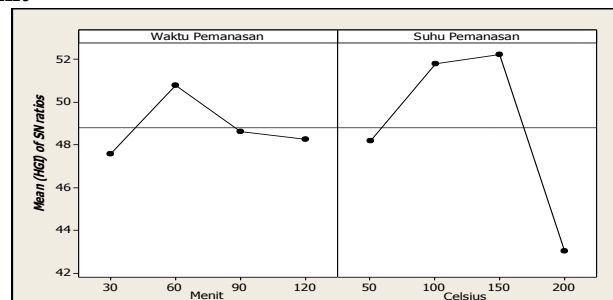
3.4.2. Batubara Subbituminus



Gambar 2. Main Effect Plot untuk Nilai HGI (SN ratios) Batubara Subbituminus

Berdasarkan **Gambar 2** dapat diketahui bahwa tingkatan ke-3 pada faktor suhu pemanasan memiliki nilai HGI yang lebih besar daripada tingkatan yang lainnya sehingga faktor suhu pemanasan memberikan pengaruh terbesar pada tingkatan ke-3 (150 °C) yaitu sebesar 44,65. Begitu juga dengan faktor waktu pemanasan pada tingkatan ke-2 (60 menit) memberikan pengaruh terhadap nilai HGI yang terbesar daripada tingkatan lainnya yaitu sebesar 44,44.

3.4.3. Batubara Lignit



Gambar 3. Main Effect Plot untuk Nilai HGI (SN ratios) Batubara Lignit

Berdasarkan **Gambar 3** dapat diketahui bahwa tingkatan ke-3 pada faktor suhu pemanasan memiliki nilai HGI yang lebih besar daripada tingkatan yang lainnya sehingga faktor suhu pemanasan memberikan pengaruh terbesar pada tingkatan ke-3 (150 °C) yaitu sebesar 52,23. Begitu juga dengan faktor waktu pemanasan pada tingkatan ke-2 (60 menit) memberikan pengaruh terhadap nilai HGI yang terbesar daripada tingkatan lainnya yaitu sebesar 50,78.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil analisis dengan uji *Pearson Correlation* menunjukkan bahwa nilai korelasi suhu dan waktu pemanasan pada batubara bituminus berturut-turut -0,230 dan -0,172, batubara subbituminus berturut-turut -0,378 dan -0,129, serta batubara lignit berturut-turut -0,289 dan -0,003. Nilai tersebut menyatakan bahwa semakin besar suhu dan waktu pemanasan, maka nilai HGI akan semakin turun.
2. Hasil analisis dengan uji *Pearson Correlation* menunjukkan bahwa pada ketiga *rank* batubara, baik batubara bituminus, subbituminus, maupun lignit, pada waktu tetap 30 menit dan 60, peningkatan suhu pemanasan membuat nilai HGI semakin besar. Namun pada waktu tetap 90 menit dan 120 menit, peningkatan suhu pemanasan membuat nilai HGI semakin kecil.
3. Hasil analisis dengan uji *Pearson Correlation* yang menunjukkan bahwa pada batubara bituminus, pada suhu tetap 50 °C dan 100 °C, peningkatan waktu pemanasan membuat nilai HGI semakin besar. Namun pada suhu tetap 150 °C dan 200 °C, nilai HGI menjadi semakin kecil. Pada batubara subbituminus dan lignit, pada suhu tetap 50 °C, 100 °C, dan 150 °C,



- peningkatan waktu pemanasan membuat nilai HGI semakin besar. Namun pada suhu tetap 200 °C, nilai HGI menjadi semakin kecil.
4. Hasil analisis dengan uji ANOVA yang dilakukan dengan uji F menunjukkan bahwa pada ketiga *rank* batubara yang diuji, terdapat pengaruh yang signifikan antara suhu dan waktu pemanasan terhadap nilai HGI, juga interaksi keduanya. Hal ini ditunjukkan berdasarkan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, dan analisis signifikansi $0,000 < 0,005$.
 5. Kondisi optimum nilai HGI pada kombinasi suhu dan waktu pemanasan berdasarkan angka HGI tertinggi (*large is better*) dengan metode Taguchi menunjukkan bahwa variabel optimum suhu dan waktu pemanasan pada batubara bituminus berturut-turut 100 °C dan 60 menit dengan nilai HGI 46,45 dan 44,28, batubara subbituminus berturut-turut 150 °C dan 60 menit dengan nilai HGI 44,65 dan 44,44, serta batubara lignit berturut-turut 150 °C dan 60 menit dengan nilai HGI 52,23 dan 50,78.

DAFTAR PUSTAKA

- Ary Maxsi, 2014, Analisis Korelasi & Regresi Sederhana Menggunakan SPSS 17.0 : Bandung. Tidak dipublikasikan.
- Basuki. Agus Tri, 2014, Penggunaan SPSS dalam Statistik, Danisa Media : Sleman.
- Chaniago Junaidi, 2010, Titik Persentase Distribusi F, <http://junaidichaniago.wordpress.com>, diakses pada tanggal 20 Juni 2019.
- Edgar. Thomas F, 1983, *Coal Processing and Pollution Control*, Bibliography : United States, ISBN 13 : 978-0872011229.
- Gio. Prana Ugiana dan Elly Rosmaini, 2016, Belajar Olah Data dengan SPSS, MINITAB, R, MICROSOFT EXCEL, EVIEWS, LISREL, AMOS, dan SMARTPLS, USU Press : Medan, ISBN 979-458.
- Miller. Bruce G, 2005, *Coal Energy System*, Elsevier Academic Press : United States of America, ISBN 0-12-497451-1.
- Muchjidin, 2006, Pengendalian Mutu dalam Industri Batubara, Institut Teknologi Bandung : Bandung, ISBN 979-3507-75-6.
- Nugroho Sigit, 2008, Dasar-Dasar Rancangan Percobaan, UNIB Press : Bengkulu, ISBN 978-979-9431-34-9.
- Nur Syukri N., 2009, Aplikasi Program Minitab 15, PT. Calprint Indonesia : Jakarta.
- Osborne. D. G., 1988, *Coal Preparation Technology Volume 1*, Graham & Trotman Inc : USA, ISBN 086010-995-X.
- Perdana Echo, 2016, Olah Data Skripsi dengan SPSS 22, Lab Kom Managemen FE UBB : Bangka Belitung, ISBN 978-602-60185-0-2.
- Soejanto Irwan, 2009, Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi, Graha Ilmu : Yogyakarta, ISBN 978-797-756-492-6.
- Speigh. J. G., 2005, *Handbook of Coal Analysis*, Wiley-Interscience : New Jerley, ISBN 0-471-52273-2.
- Sudarsono. Arief S., 2003, Pengantar Preparasi dan Pencucian Batubara, Institut Teknologi Bandung : Bandung, ISBN 979-8305-23-X.
- Sugiyono, 2003, Statistika untuk Penelitian, CV. Alfabeta : Bandung, ISBN 978-979-8433-10-8.
- Sukandarrumidi, 2004, Batubara dan Gambut, Gadjah Mada University Press : Yogyakarta, ISBN 979-420-359-9.
- Sukandarrumidi, 2009, Batubara dan Pemanfaatannya, Gadjah Mada University Press : Yogyakarta, ISBN 978-979-420-619-5.
- Thomas Larry, 2013, *Coal Geology (second edition)*, Wiley-Blackwell : United Kingdom, ISBN 978-1-119-99044-4.