

HASIL PENELITIAN

SISTEM KENDALI MESIN *CRUSHER*
PADA PROSES PENGOLAHAN BATUBARA



POHNY
P2700210066

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2013

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan izin-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis ini yang berjudul “ **SISTEM KENDALI MESIN CRUSHER PADA PROSES PENGOLAHAN BATUBARA**” Dalam penyusunan tesis ini, penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. Salama Manjang, MT, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Program Pascasarjana UNHAS.
2. Bapak Dr. Ir. H. Andani Achmad, MT, selaku Ketua Penasehat (Pembimbing I)
3. Bapak Dr.Ir.H.Rhiza S.Sadjad, MSSE, selaku Anggota Penasehat (Pembimbing II)
4. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Nadjamuddin Harun,MS, Bapak Dr. Eng. Syafaruddin, ST, M. Eng dan Bapak Dr. Loeky Haryanto, MS.,M. Sc.,MAT
5. Seluruh Staf Tata Usaha yang ada di Program Pascasarjana, Fakultas dan Program Studi Teknik Elektro.
6. Bapak Doni Mantiri selaku *Engineering Superintendent* pada PT.PKN.

Penulis menyadari bahwa selama penelitian dan penyusunan tesis masih banyak kekurangan dan kesalahan. Oleh karena itu penulis mohon saran dan kritik dari berbagai pihak yang bersifat membangun sebagai bahan perbaikan yang akan datang. Semoga penelitian ini bermanfaat bagi semua pihak.

Makassar, Oktober 2013

Penulis

ABSTRAK

POHNY. *Sistem Kendali Mesin Crusher Pada Proses Pengolahan Batubara.*

(dibimbing oleh **Dr. Ir. H. Andani Achmad, MT** dan **Dr. Ir. H. Rhiza S. Sadjad, MSSE**).

Penelitian ini bertujuan untuk pemodelan matematis *crusher* dan merancang sistem kendali untuk mengurangi gangguan *feed size* dan tumpukan batubara pada *primary crusher*.

Pengendalian ini dilakukan menggunakan kendali umpan maju dan kendali PID, kendali umpan maju digunakan untuk mendeteksi ukuran batubara sebelum masuk *primary crusher* dengan cara menaikkan *power primary crusher*. Kendali PID digunakan untuk mengurangi kecepatan *conveyor1* dan *conveyor2* tidak terlambat membawa batubara yang keluar dari *primary crusher* dengan tujuan mengurangi penumpukan pada *primary crusher*.

Hasil verifikasi menunjukkan keadaan normal *capacity* 0,138 ton/sec dengan *feed size* 51,568 mm dengan gangguan *feed size* 1000 menghasilkan *size* 64,967 mm, setelah dikendalikan dengan kendali umpan maju pada *conveyor1* dan *input primary crusher* dengan menambah *power* 16% dari 30 kW dan menghasilkan *size* 51,568 mm. Gangguan tumpukan pada *primary crusher* 1,926 ton dengan waktu 349,006 *second* dikendalikan dengan umpan balik PID dari *output primary crusher* dengan *input primary crusher*, pengujian parameter kendali PID ($K_p = 0,022$; $K_i = 2.10e-5$; $K_d = 0,401$) dengan hasil pengendalian tumpukan 0,8189 ton dengan waktu diperlambat 349,423 *second* dan menghasilkan produk 17,32 ton sehingga mengurangi gangguan tumpukan pada *primary crusher* sebesar 42,52%.

Kata kunci: Batubara, *crusher*, kendali umpan maju, kendali PID.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
I PENDAHULUAN	1
A LATAR BELAKANG	1
B RUMUSAN MASALAH	3
C TUJUAN PENELITIAN	3
D MANFAAT PENELITIAN	3
E RUANG LINGKUP PENELITIAN	3
F SISTEMATIKA TESIS	4
II SISTEM KENDALI PROSES	5
A TEKNOLOGI KENDALI	5
B PEMODELAN SISTEM	8
C BATUBARA	10
D KERANGKA PIKIR	20
E ROADMAP PENELITIAN	20
III PERANCANGAN SISTEM KENDALI <i>CRUSHER</i>	22
A RANCANGAN KENDALI <i>CRUSHER</i>	22
B WAKTU DAN LOKASI PENELITIAN	22
C ALAT PENELITIAN	33
D TEKNIK PENGUMPULAN DATA	33
E TEKNIK ANALISA DATA	33
F TAHAP – TAHAP PENELITIAN	25
IV HASIL PEMODELAN DAN KENDALI	26
A PROSES PENGOLAHAN BATUBARA	26
B PEMODELAN DAN SIMULASI NORMAL	27
C PEMODELAN DAN SIMULASI GANGGUAN	36

C.1 Gangguan Diameter	37
C.2 Gangguan Tumpukan	37
C.3 Gangguan Kapasitas Input	38
D SISTEM KENDALI UNTUK MENGATASI GANGGUAN	39
D.1 Sistem Kendali Gangguan Diameter	40
D.2 Sistem Kendali Gangguan Tumpukan	42
D.3 Pengujian parameter PID	43
V KESIMPULAN DAN SARAN	41
A KESIMPULAN	45
B SARAN	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sistem pengendalian umpan balik	5
Gambar 2.2	Blok diagram kendali PID	6
Gambar 2.3	Sistem kendali <i>loop</i> terbuka	8
Gambar 2.4.	Proses terbentuknya batubara	10
Gambar 2.5.	Gambut (<i>peat</i>) dan <i>lignite</i>	12
Gambar 2.6.	<i>Bitumen</i> dan <i>Antrasit</i>	13
Gambar 2.7	Struktur Kimia Batubara	14
Gambar 2.8	Proses Pengolahan Batubara	15
Gambar 3.1	Diagram blok <i>input</i> dan <i>output crusher</i>	22
Gambar 3.2	Proses pengolahan batubara	24
Gambar 3.3	Diagram alir penelitian	25
Gambar 4.1	Blok diagram proses peremukan batubara	26
Gambar 4.2	Model simulasi <i>hopper</i>	27
Gambar 4.3	Model simulasi <i>conveyor</i>	28
Gambar 4.4	Grafik <i>input</i> dan <i>output hopper</i>	29
Gambar 4.5	Model simulasi <i>primary crusher</i>	30
Gambar 4.6	Model simulasi <i>input</i> dan <i>output primary crusher</i>	31
Gambar 4.7	Model simulasi <i>vibrating screen</i>	32
Gambar 4.8	Grafik <i>input</i> dan <i>output vibrating screen</i>	33
Gambar 4.9	Model simulasi <i>secondary crusher</i>	34
Gambar 4.10	Grafik <i>input</i> dan <i>output secondary crusher</i>	35
Gambar 4.11	Grafik <i>input hopper</i> dan <i>output conveyor3</i>	36
Gambar 4.12	Grafik gangguan diameter	37
Gambar 4.13	Grafik gangguan tumpukan <i>primary crusher</i>	38
Gambar 4.14	Grafik gangguan kapasitas <i>input hopper</i>	39
Gambar 4.15	Diagram blok kendali umpan maju	40
Gambar 4.16	Blok rancangan kendali umpan maju	41
Gambar 4.17	Grafik gangguan diameter dengan pengendali	41
Gambar 4.18	Diagram blok kendali umpan balik <i>primary crusher</i>	42
Gambar 4.19	Blok rancangan kendali PID	42
Gambar 4.20	Grafik respon penalaan parameter kendali PID	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Distribusi ukuran batubara	19
Tabel 4.1	Spesifikasi <i>conveyor</i>	28
Tabel 4.2	Klasifikasi <i>output vibrating screen</i>	31
Tabel 4.3	Pengujian parameter PID	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagan Kotak Variabel <i>Input</i> dan <i>Output</i> pada Proses Sistem	
Gambar 3.1 Diagram Rancangan Penelitian	
Gambar 3.2 Lokasi kerja PT. Pesona Khatulistiwa Nusantara	
Gambar 4.1 Proses Pengolahan Batubara	
Gambar 4.2. Bagan Kotak Diagram Sistem Kendali	

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Teknologi berkembang sejalan dengan kehidupan manusia itu sendiri, tidak ada satu bagian dari kehidupan yang terlepas dari sentuhan teknologi. Bahkan segala sesuatu yang dilakukan oleh manusia untuk mempermudah dan memperlancar aktifitasnya termasuk dalam kategori teknologi. Penggunaan alat untuk tujuan tertentu dengan efektif dan efisien mulai dari yang paling sederhana sampai yang paling modern merupakan bagian dari teknologi. Oleh karena itu lingkup teknologi sangat luas merambah keseluruhan aspek kehidupan manusia, meliputi semua perkembangan pola pemikiran manusia dari suatu teknik ke teknik yang lain[1].

Dengan kemajuan zaman, kendali otomatis telah memegang peranan yang sangat penting dalam perkembangan ilmu dan teknologi. Disamping sangat diperlukan pada pesawat ruang angkasa, peluru kendali, sistem pengemudian pesawat dan sebagainya, kendali otomatis telah menjadi bagian yang penting dan terpadu dari proses-proses dalam pabrik dan industri modern[2].

Pengenalan pengendalian angin (*pneumatic*) pada pabrik telah memulai otomatisasi dari sistem kendali proses. Peran dari operator manusia dalam hal ini masih penting, tetapi mereka tidak membagi kerja keseluruhan subsistem dari pabrik seperti sebelumnya[3].

Indonesia adalah Negara yang kaya akan sumber daya, baik manusia maupun alamnya. Alam negeri ini berisi sumber daya yang sangat melimpah ruah, seperti kekayaan kandungan laut, tanah yang subur, dan wilayah yang strategis. Namun semuanya tergantung besar kecilnya subjek pengelolanya, yaitu manusia-manusia yang berperan didalamnya. Kandungan energi Indonesia baik yang di laut maupun di darat,

mengandung banyak cadangan energi yang belum ter-*explore* dan termanfaatkan dengan optimal. Menyadari bahwa kandungan minyak bumi dunia yang terus menerus menurun, batubara menjadi alternatif yang menjanjikan sebagai energi penggantinya. Dengan adanya rencana pemerintah untuk membangun PLTU didalam dan luar pulau jawa dengan kapasitas 10.000 MW, meningkatnya produksi semen setiap tahun, dan semakin berkembangnya industry-industri lain seperti industri kertas (pulp) dan industri tekstil merupakan indikasi permintaan dalam negeri akan semakin meningkat. Demikian pula halnya dengan permintaan batubara dari negara-negara pengimpor mengakibatkan produksi akan semakin meningkat. Terkait dengan hal tersebut, pemerintah mengeluarkan Kebijakan Energi Nasional (KEN) melalui PP No.5 Tahun 2006 sebagai pembaruan Kebijaksanaan Umum Bidang Energi (KUBE) tahun 1998. KEN mempunyai tujuan utama untuk menciptakan keamanan pasokan energi nasional secara berkelanjutan dan pemanfaatan energi secara efisien, serta terwujudnya bauran energi (*energy mix*) yang optimal pada tahun 2025. Untuk itu ketergantungan terhadap satu jenis sumber energi seperti BBM harus dikurangi dengan memanfaatkan sumber energi alternatif di antaranya batubara[4]. Unit peremuk batubara di PT. Pesona Khatulistiwa Nusantara menggunakan berbagai macam peralatan yang terangkai dalam satu rangkaian pengolahan batubara pada mesin *crusher* proses pengolahan batubara yang terdiri dari *hopper*, *conveyor*, *primary crusher*, *vibrating screen*, *secondary crusher*. Batubara hasil tambang dengan ukuran rata-rata ± 800 mm direduksi melalui dua tahap yaitu peremukan pertama (*primary crushing*) dengan produk batubara ukuran ≤ 200 mm dan peremukan kedua (*secondary crushing*) dengan produk batubara ukuran ≤ 50 mm, kemudian produk batubara akan dialirkan menuju tempat penimbunan produk batubara (*stockpile*)[5].

Pada proses peremukan batubara PT. Pesona Khatulistiwa Nusantara gangguan yang sering terjadi adalah umpan batubara pada *hopper* melebihi > 800 mm dan gangguan tumpukan kapasitas pada

primary crusher selain itu adanya gangguan input kapasitas *hopper* (diluar sistem proses).

Mengacu pada kondisi tersebut, maka produktifitas unit mesin *crusher* pengolahan batubara saat ini belum memenuhi sasaran produksi yang diharapkan, sehingga perlu dilakukan langkah-langkah optimalisasi terhadap proses peremukan batubara dengan melakukan analisis pemodelan dan mengendalikan mesin *crusher* sehingga mengurangi gangguan yang ada.

B. RUMUSAN MASALAH

Penelitian ini akan membahas permasalahan – permasalahan berikut ini :

1. Bagaimana Pemodelan *crusher* pada proses pengolahan batubara.
2. Bagaimana merancang sistem kendali *crusher* untuk mengurangi gangguan yang ada.

C. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Membuat pemodelan *crusher* pada proses pengolahan batubara.
2. Merancang sistem kendali *crusher* untuk meminimalisir gangguan.

D. MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini diharapkan bermanfaat untuk :

1. Dapat digunakan untuk mengevaluasi dan meningkatkan kualitas dan efesiensi produksi batubara di Indonesia, khususnya dilokasi penelitian.
2. Dapat sebagai acuan mengurangi gangguan yang terjadi pada tempat penelitian dengan menerapkan rancangan sistem kendali *crusher*.

E. RUANG LINGKUP PENELITIAN

Penelitian ini terbatas pada sistem kendali *crusher* dengan dua input variabel yaitu *feed size* dan *capacity* batubara.

F. SISTEMATIKA TESIS

Dalam penulisannya, tesis ini dibagi dalam beberapa bab sesuai dengan urutan proses pengerjaan tesis.

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat, batasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan dari tesis.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi penjelasan tentang sistem kendali, pemodelan, kerangka pikir dan roadmap penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada Bab ini dibahas mengenai rancangan penelitian, lokasi dan waktu penelitian, instrument pengumpul data, teknik analisis data, tahap – tahap penelitian, serta jadwal penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi model simulasi normal, model simulasi gangguan dan kendali untuk mengatasi gangguan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan parameter sistem kendali *crusher* mengatasi gangguan.

BAB II

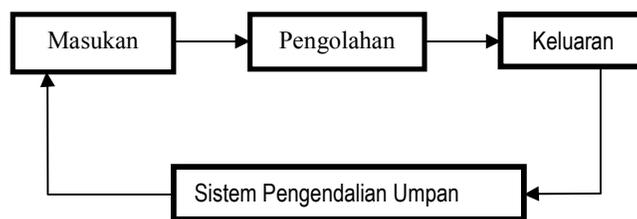
SISTEM KENDALI PROSES

A. TEKNOLOGI KENDALI

Sistem kendali dapat dikatakan hubungan antara komponen yang membentuk sebuah konfigurasi sistem, yang akan menghasilkan tanggapan sistem yang diharapkan. Jadi harus ada yang dikendalikan, yang merupakan suatu sistem fisis yang biasa disebut dengan kendalian (*plant*). Masukan dan keluaran merupakan variabel atau besaran fisis. Keluaran merupakan hal yang dihasilkan oleh kendalian, artinya yang dikendalikan; sedangkan masukan adalah yang mempengaruhi kendalian, yang mengatur keluaran. Kedua dimensi masukan dan keluaran tidak harus sama. Sistem pengendalian dapat dibedakan berdasarkan prinsip kerja pengaturan yaitu sistem kendali umpan maju (*open loop*) dan sistem kendali umpan balik (*close loop*).

a. Sistem pengendalian umpan balik

Suatu sistem tidak ada yang tertutup, supaya sistem terus melangsungkan hidupnya maka sistem harus mempunyai daya pembela diri atau sistem harus mempunyai sistem pengendalian diri. Pengendalian dari suatu sistem dapat berupa pengendalian umpan balik (*feedback control system*)[5].

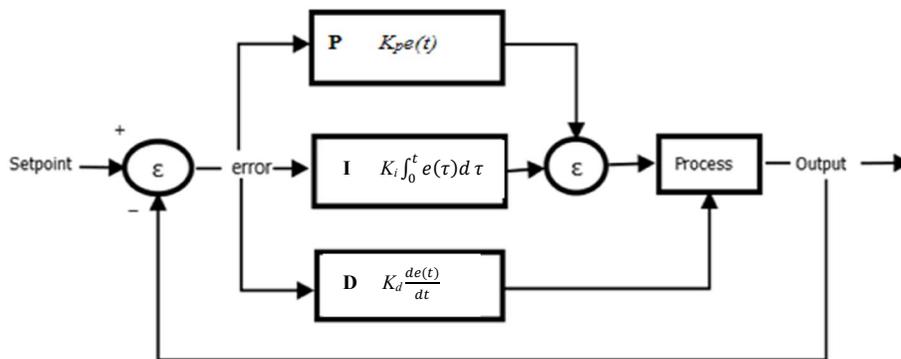


Gambar 2.1 Sistem pengendalian umpan balik
[Sumber : Jogiayanto Hartono (2004 : 689)]

Pengendalian umpan balik merupakan proses mengukur keluaran dari sistem yang dibandingkan dengan suatu standar tertentu. Bilamana terjadi perbedaan-perbedaan atau penyimpangan-penyimpangan akan dikoreksi untuk memperbaiki masukan sistem selanjutnya dapat dilihat pada gambar 2.1. Sistem kendali umpan balik adalah sistem kendali yang menggunakan hasil pengukuran keluaran (hasil proses) untuk memulai kerja pengaturan. Dengan memanfaatkan variabel yang sebanding dengan selisih respon yang terjadi terhadap respon yang diinginkan. Aplikasi sistem umpan balik banyak dipergunakan untuk sistem kemudi kapal laut dan pesawat terbang. Perangkat sehari-hari yang juga menerapkan sistem ini adalah penyetelan temperatur pada almari es, oven, tungku, dan pemanas air[8].

a. Sistem Kendali PID

Sistem kendali PID merupakan kendali untuk menentukan kepresisian suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik (*feed back*) pada sistem tersebut. Komponen PID terdiri dari tiga jenis, yaitu *proportional*, *integratif*, dan *derivative* dapat dilihat pada gambar 2.2. Ketiganya kendali tersebut dapat menutupi dan melengkapai, tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu *plant*[6].



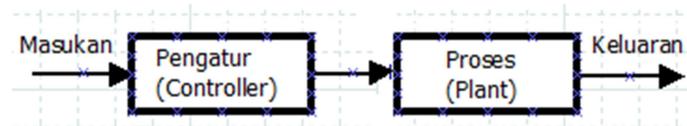
Gambar 2.2 Blok diagram kendali PID
[Sumber : Satya Kumara, (2007 : 6)]

Ada 3 macam kendali PID yaitu kendali PI, PD, dan PID. PI adalah kendali yang menggunakan komponen *proportional* dan *integratif*. PD adalah kendali yang menggunakan komponen *proportional* dan *derivatif*. Dan PID adalah kontrol yang menggunakan komponen *proportional*, *integratif*, dan *derivat*. Pengendali *proporsional* (P) salah satu dari model pengendali yang paling populer adalah unit pengendali *proportional*. Seperti yang tercermin dari namanya, unit pengendalian ini memberikan output-an yang sebanding (*proporsional*) dengan besarnya *error*. Pengendali *Integral* (I) unit pengendali ini disebut juga sebagai unit pengendali reset karena kemampuannya mengeliminasi *offset* yang ditinggalkan oleh pengendali *proportional*. Pengendali *differensial* ini tidak dapat berdiri sendiri, unit pengendali D ini selalu dipakai dalam kombinasi dengan P dan I, menjadi pengendali PD atau pengendali PID. Pengendali *proportional-integral* (PI) Kelebihan dan kekurangan dari sistem pengendali *proportional integral* (PI) merupakan gabungan dari *proportional* dan *integral*. Sifat sistem pengendali *proportional* selalu meninggalkan *offset* dapat ditutupi oleh kelebihan pengendali *integral*, sedangkan sifat pengendali *integral* yang lambat dapat ditutupi oleh pengendali *proportional*. Karena sifatnya yang sederhana dan efektif, pengendali jenis ini paling banyak dipakai untuk berbagai aplikasi di industri. Pengendali *proportional-integral- differensial* (PID), untuk menutupi semua kekurangan pengendali PI maupun pengendali PD, maka ketiga model yang ada digabung menjadi model pengendali PID. Unsur P, I, maupun D berfungsi untuk mempercepat reaksi sistem.

b. Sistem Kendali Umpan Maju

Sistem pengendalian umpan maju (*feedforward control*) disebut juga sistem pengendalian *loop* terbuka . Pada sistem ini keluaran tidak ikut andil dalam aksi pengendalian sebagaimana dicontohkan gambar 2.3. Disini kinerja kendali tidak bisa dipengaruhi oleh input referensi. Sistem umpan maju umumnya mempergunakan pengatur (kendali) serta aktuator

kendali (*control actuator*) yang berguna untuk memperoleh respon sistem yang baik. Sistem kendali ini keluarannya tidak diperhitungkan ulang oleh *controller*. Suatu keadaan apakah plant benar-benar telah mencapai target seperti yang dikehendaki masukan atau referensi, tidak dapat mempengaruhi kinerja kendali[7].



Gambar 2.3 Sistem kendali *loop* terbuka

[Evi Andriani,(2010 : 45)]

Sistem pengendalian umpan maju merupakan sistem pengendali dengan mendorong proses dari sistem untuk mendapatkan hasil yang lebih baik lagi sebelum terjadinya penyimpangan. Sistem pengendali umpan maju merupakan suatu perbaikan dari sistem pengendalian umpan balik yang memiliki kelemahan apabila kondisi yang akan dibandingkan sangat besar . *Positive feedback* mencoba mendorong proses dari sistem supaya menghasilkan hasil balik yang positif .

B. Pemodelan Sistem

Untuk memudahkan dalam memahami suatu sistem kendali perlu untuk menggambarkan sistem kendali tersebut kedalam bentuk model, yang umum digunakan adalah model fisik dan model matematis. Model yang layak digunakan adalah model yang sesuai dengan target yang ingin dicapai. Dalam perancangan model patut dititik beratkan bahwa kebanyakan dari strategi kendali berdasarkan pada model, model sangat penting secara teknis terdapat hubungan antara proses yang akan di kendalikan dengan parameter kendali PID yang harus di-*tuning*. Dalam hal ini parameter PID (*Proportional Integral Derivative*) optimal pada dasarnya dapat dicari lebih pasti berdasarkan model

dan nilai parameter proses yang diketahui[9]. Pemodelan modern berupa pemodelan ruang keadaan yang bekerja pada pada domain waktu sehingga mampu mempresentasikan keadaan sistem dalam bentuk perubahan berbagai parameter dalam sistem terhadap waktu.

Pemodelan bertujuan untuk mendapatkan kinerja sistem hasil pemodelan mendekati kinerja sistem yang *real*. Pemodelan dibuat supaya dapat dipelajari, dianalisis, serta mengevaluasi sistem tersebut. Apabila dari evaluasi yang dilakukan terdapat masalah pada sistem, maka dapat dilakukan upaya untuk memperbaiki atau memodifikasi yang tidak mengganggu jalannya operasi, karena yang dimodifikasi adalah model yang sepenuhnya menggambarkan kinerja sistem tersebut.

Pemodelan sistem peremukan batubara (*crusher*) dengan modelnya seperti berikut,

Rasio reduksi (D_f/D_p), dimana ukuran dari batubara sebelum melalui proses penghancuran. Dengan tujuan dari *crusher* adalah mereduksi ukuran material. Oleh karena itu, digunakan Hukum *Kick*[10]. Pada hukum *Kick*, berlaku:

$$\frac{P}{m} = K_k \ln \frac{D_f}{D_p} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana,

K_k = Koefisien kick

D_f = Ukuran umpan batubara (mm)

D_p = Ukuran setelah diremukan (mm)

m = Kapasitas batubara (ton/jam)

P = Daya (kW)

Sehingga,

$$K_k = \frac{P}{m \ln \frac{D_f}{D_p}} \dots\dots\dots (2)$$

Pada *crusher*, nilai kapasitas yang masuk dan keluar adalah sama. Dengan mengacu pada persamaan (2), maka untuk setiap material yang masuk ke *crusher*, dapat diperoleh *product size*.

$$\begin{aligned} \frac{P}{m} &= K_k \ln \frac{D_f}{D_p} \rightarrow \frac{P}{m} = K_k (\ln D_f - \ln D_p) \\ &\rightarrow K_k \ln D_p = K_k (\ln D_f) - \frac{P}{m \cdot K_k} \\ &\rightarrow D_p = e^{\left((\ln D_f) - \frac{P}{m \cdot K_k} \right)} \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

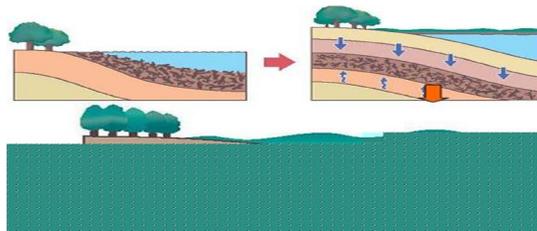
C. Batubara

Batubara adalah mineral organik yang dapat terbakar, terbentuk dari sisa tumbuhan purba yang mengendap yang selanjutnya berubah bentuk akibat proses fisika dan kimia yang berlangsung selama jutaan tahun. Oleh karena itu, batubara termasuk dalam kategori bahan bakar fosil.

1. Pembatubaraan (*coalification*).

Adapun proses yang mengubah tumbuhan menjadi batubara tadi disebut dengan pembatubaraan (*coalification*).

Faktor tumbuhan purba yang jenisnya berbeda - beda sesuai dengan zaman geologi dan lokasi tempat tumbuh dan berkembangnya, ditambah dengan lokasi pengendapan (*sedimentasi*) tumbuhan, pengaruh tekanan batuan dan panas bumi serta perubahan geologi yang berlangsung kemudian, akan menyebabkan terbentuknya batubara yang jenisnya bermacam-macam. Oleh karena itu, karakteristik batubara berbeda-beda sesuai dengan lapangan batubara (*coal field*) dan lapisannya (*coal seam*)[19].



Gambar 2.4. Proses terbentuknya batubara

[Sumber: Kuri-n ni Riyo Sareru Sekitan, 2004]

Dalam proses pematubaraan, maturitas organik sebenarnya menggambarkan perubahan konsentrasi dari setiap unsur utama pembentuk batubara. Berikut ini ditunjukkan contoh analisis dari masing - masing unsur yang terdapat dalam setiap tahapan pematubaraan.

Semakin tinggi tingkat pematubaraan, maka kadar karbon akan meningkat, sedangkan hidrogen dan oksigen akan berkurang. Karena tingkat pematubaraan secara umum dapat diasosiasikan dengan mutu atau kualitas batubara, maka batubara dengan tingkat pematubaraan rendah disebut batubara bermutu rendah, seperti *lignite* dan *sub-bituminus*. Biasanya lebih lembut dengan materi yang rapuh dan berwarna suram seperti tanah, memiliki tingkat kelembaban (*moisture*) yang tinggi dan kadar karbon yang rendah, sehingga kandungan energinya rendah. Semakin tinggi mutu batubara, umumnya akan semakin keras dan kompak, serta warnanya akan semakin hitam mengkilat. Selain itu, kelembabannya pun akan berkurang sedangkan kadar karbonnya akan meningkat, sehingga kandungan energinya juga semakin besar.

Proses pembentukan batubara dari tumbuhan melalui dua tahap, yaitu :

- Tahap pembentukan gambut (*peat*) dari tumbuhan yang disebut proses *peatification*

Gambut adalah batuan sedimen organik yang dapat terbakar yang berasal dari tumpukan hancuran atau bagian dari tumbuhan yang *terhumifikasi* dan dalam keadaan tertutup udara (dibawah air), tidak padat, kandungan air lebih dari 75 %, dan kandungan mineral lebih kecil dari 50% dalam kondisi kering.

- Tahap pembentukan batubara dari gambut yang disebut proses *coalification*.

Lapisan gambut yang terbentuk kemudian ditutupi oleh suatu lapisan sedimen, maka lapisan gambut tersebut mengalami tekanan dari lapisan sedimen di atasnya. Tekanan yang meningkat mengakibatkan peningkatan temperatur. Disamping itu temperatur juga akan meningkat

dengan bertambahnya kedalaman, disebut *gradient geotermik* dapat dilihat pada gambar 2.4.

2. Jenis-Jenis Batubara

Seperti yang sudah dijelaskan pada bagian sebelumnya, mutu setiap batubara akan ditentukan oleh faktor suhu, tekanan, serta lama waktu pembentukan. Semua faktor tersebut, kemudian dikenal dengan istilah maturitas organik. Semakin tinggi maturitas organiknya, maka semakin bagus mutu batubara yang dihasilkan, begitu juga sebaliknya. Berdasarkan hal tersebut, maka kita dapat mengidentifikasi batubara menjadi dua golongan, yaitu :

a. Batubara dengan mutu rendah

Batubara pada golongan ini memiliki tingkat kelembaban yang tinggi, serta kandungan karbon dan energi yang rendah. Biasanya batubara pada golongan ini memiliki tekstur yang lembut, mudah rapuh, serta berwarna suram seperti tanah dapat dilihat pada gambar 2.5. Jenis batubara pada golongan ini diantaranya gambut, *lignite* (batubara muda).



Gambar 2.5. Gambut (*peat*) dan *Lignite*
[Sumber : Feri Yuliansyah Ofanda, 2012

b. Batubara dengan mutu tinggi

Batubara pada golongan ini memiliki tingkat kelembaban yang rendah, serta kandungan karbon dan energi yang tinggi. Biasanya batubara pada golongan ini memiliki tekstur yang keras, materi kuat, serta berwarna hitam cemerlang[22].

Jenis batu bara pada golongan ini diantaranya bitumen dan antrasit pada gambar 2.6



Gambar 2.6. *Bitumen dan Antrasit*

[Sumber : Prandika Nur Pratama, 2012.]

3. Pemanfaatan Batubara

Batubara dapat menghasilkan energi yang dimanfaatkan umat manusia dengan harga yang lebih rendah daripada minyak bumi, proses penambangan tidak serumit tambang minyak bumi. Batubara dapat dimanfaatkan antara lain untuk :

a. Pemanfaatan batubara menjadi sumber listrik

Yang membutuhkan batubara ini adalah mesin pembangkit tenaga listrik dan industry-industri yang melakukan proses pembakaran dalam produksinya. Masing-masing mempunyai persyaratan tersendiri dari nilai kalori dan sifat-sifat tertentu yang menyertai batubara sehingga lebih ekonomis dan lebih efektif pemanfaatannya. Untuk pembangkit tenaga listrik membutuhkan batubara dengan nilai kalori yang tinggi 6000 – 8000 kal sedangkan untuk industri lainnya membutuhkan batubara dengan range kalori 4500 – 6000 kal.

b. Batubara dalam produksi besi dan baja

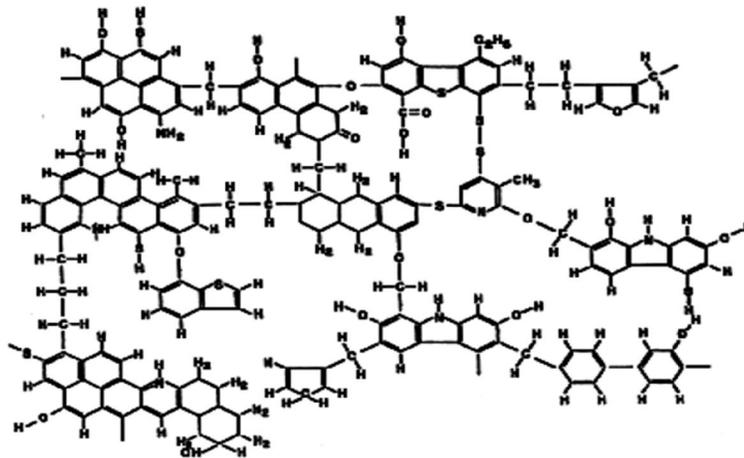
Batubara penting bagi produksi besi dan baja sekitar 64% dari produksi baja di seluruh dunia berasal dari besi yang dibuat di tanur tiup yang menggunakan batubara. Produksi baja mentah dunia berjumlah 965 juta ton pada tahun 2003, menggunakan batubara sekitar 543 juta ton.

c. Bahan bakar pembuatan semen

Semen terbuat dari campuran kalsium karbonat (umumnya dalam bentuk batu gamping), silika, oksida besi dan alumina. Sementara itu, batu bara dipergunakan sebagai sumber energi dalam produksi semen. Untuk memproduksi semen sebanyak 900 gr misalnya, akan membutuhkan energi batubara sebesar 450 gr. Dan banyak ahli memprediksi pada masa mendatang peran batubara sebagai input penting dalam industri semen akan tetap eksis.

4. Proses Pengolahan Batubara

Strukturnya kimia batubara sama sekali bukan rangkaian kovalen karbon sederhana melainkan merupakan polikondensat rumit dari gugus aromatik dengan fungsi heterosiklik[25]. Jumlah polikondensat yang banyak ini saling berikatan sering disebut dengan “*bridge-structure*”. Secara optis batubara sering merupakan bongkahan berporus tinggi dengan kadar air yang sangat bervariasi.



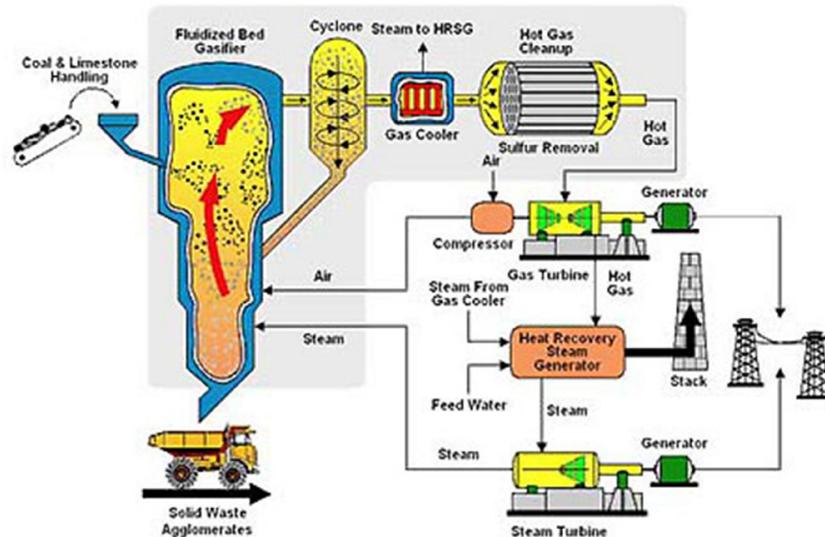
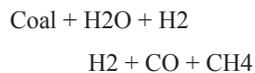
[Sumber. Orchin.M, 2005]

Gambar 2.7 *Structure* Kimia Batubara

Proses pengolahan batubara dapat dilihat pada gambar 2.8, dimana sudah dikenal sejak seabad yang lalu, diantaranya:

a. Gasifikasi (*coal gasification*)

Secara sederhana, gasifikasi adalah proses konversi materi organik (batubara, biomass atau natural gas) biasanya padat menjadi CO dan H₂ (*synthesis gases*) dengan bantuan uap air dan oksigen pada tekanan *atmosphere* atau tinggi[26]. Rumus sederhananya:



Gambar. 2.8 Proses Gasifikasi

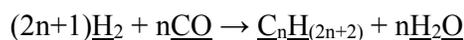
[Sumber. *Cooperative Study of Development of Low Grade Coal Liquefaction Technology*, 2003]

Proses konversi batubara menjadi produk gas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar serta bahan baku berbagai jenis industri. Keunggulan *gasifier* 1)Mampu memproses bahan baku berkualitas rendah. 2)Kontak antara padatan dan gas bagus. 3)Luas permukaan reaksi besar sehingga reaksi dapat berlangsung dengan cepat. 4)Efisiensi tinggi dan 5)Emisi rendah. Reaksi yang terjadi pada gasifier umumnya terdiri dari empat proses yaitu pengeringan, pirolisis, oksidasi, dan reduksi. Pada *gasifier* jenis ini, kontak yang terjadi saat

pencampuran antara gas dan padatan sangat kuat sehingga perbedaan zona pengeringan, pirolisis, oksidasi, dan reduksi tidak dapat dibedakan.

b. *Fisher tropsch* proses

Fisher Tropsch adalah sintesis CO/H₂ menjadi produk hidrokarbon atau disebut senyawa hidrokarbon sintetis oil. Sintetis oil banyak digunakan sebagai bahan bakar mesin industri/transportasi atau kebutuhan produk pelumas (*lubricating oil*).



c. Hidrogenasi (*hydrogenation*)

Hidrogenasi adalah proses reaksi batubara dengan gas hydrogen bertekanan tinggi. Reaksi ini diatur sedemikian rupa (kondisi reaksi, katalisator dan kriteria bahan baku) agar dihasilkan senyawa hidrokarbon sesuai yang diinginkan, dengan spesifikasi mendekati minyak mentah. Sejalan perkembangannya, hidrogenasi batubara menjadi proses alternatif untuk mengolah batubara menjadi bahan bakar cair pengganti produk minyak bumi, proses ini dikenal dengan nama Bergius proses, disebut juga proses pencairan batubara (*coal liquefaction*).

d. Pencairan batubara (*coal Liquefaction*)

Coal liquefaction adalah terminologi yang dipakai secara umum mencakup pemrosesan batubara menjadi BBM sintetis (*synthetic fuel*). Pendekatan yang mungkin dilakukan untuk proses ini adalah: pirolisis, pencairan batubara secara langsung (*Direct Coal Liquefaction-DCL*) ataupun melalui gasifikasi terlebih dahulu (*Indirect Coal Liquefaction-ICL*). Secara intuitif aspek yang penting dalam pengolahan batubara menjadi bahan bakar minyak sintetis adalah: efisiensi proses yang mencakup keseimbangan energi dan masa, nilai investasi, kemudian apakah prosesnya ramah lingkungan sehubungan dengan emisi gas buang, karena ini akan mempengaruhi nilai insentif menyangkut tema tentang lingkungan. Undang-Undang No.2/2006 yang mengaatur tentang proses pencairan batubara.

Efisiensi pencairan batubara menjadi BBM sintetik adalah 1-2 barrel/ton batubara[27]. Jika diasumsikan hanya 10% dari deposit batubara dunia dapat dikonversikan menjadi BBM sintetik, maka produksi minyak dunia dari batubara maksimal adalah beberapa juta barrel/hari. Hal ini jelas tidak dapat menjadikan batubara sebagai sumber energi alternatif bagi seluruh konsumsi minyak dunia. Walaupun faktanya demikian, bukan berarti batubara tidak bisa menjadi jawaban alternatif energi untuk kebutuhan domestik suatu negara. Faktor yang menjadi penentu adalah: apakah negara itu mempunyai cadangan yang cukup dan teknologi yang dibutuhkan untuk meng-konversi-kannya. Jika diversifikasi sumber energi menjadi strategi energi suatu negara, pastinya batubara menjadi satu potensi yang layak untuk dikaji menjadi salah satu sumber energi, selain sumber energi terbarukan (angin, solar cell, geothermal, biomass). Tetapi perlu kita ingat bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mempertimbangkannya tidaklah tanpa batas, karena sementara Negara lain sudah melakukan kebijakan-kebijakan konkret domestik maupun luar negeri untuk mengukuhkan strategi energi untuk kepentingan negaranya.

e. Pencairan batubara metode langsung (DCL)

Pencairan batubara metode langsung atau dikenal dengan *Direct Coal Liquefaction-DCL*, dikembangkan cukup banyak oleh negara Jerman dalam menyediakan bahan bakar pesawat terbang. Proses ini dikenal dengan *Bergius Process*, baru mengalami perkembangan lanjutan setelah perang dunia kedua.

DCL kapasitas dunia di Inner Mongolia. Dalam Phase pertama pabrik ini akan dihasilkan lebih dari 800.000 ton bahan bakar cair pertahunnya.

Yang menjadikan proses DCL sangat bervariasi adalah beberapa faktor dibawah:

1. Pencapaian dari sebuah proses DCL sangat tergantung daripada jenis *feedstock* (spesifikasi batubara) yang dipergunakan, sehingga tidak

ada sebuah sistem yang bisa optimal untuk digunakan bagi segala jenis batubara.

2. Jenis batubara tertentu mempunyai kecenderungan membentuk lelehan (*caking perform*), sehingga menjadi bongkahan besar yang dapat membuat reaktor kehilangan tekanan dan gradient panas terlokalisasi (*hotspot*). Hal ini biasanya diatasi dengan mencampur komposisi batubara, sehingga pembentukan lelehan dapat dihindari.
3. Batubara dengan kadar ash yang tinggi lebih cocok untuk proses gasifikasi terlebih dahulu, sehingga tidak terlalu mempengaruhi berjalannya proses.
4. *Thermal frakmentasi* merupakan fenomena yang terjadi dimana serpihan batubara mengalami defrakmentasi ukuran hingga berubah menjadi partikel-partikel kecil yang menyumbat jalannya aliran gas sehingga mengganggu jalannya keseluruhan proses. Hal ini dapat diatasi dengan proses pengeringan batubara terlebih dahulu sebelum proses konversi pada reaktor utama.

DCL adalah proses *hydro-craacking* dengan bantuan katalisator. Prinsip dasar dari DCL adalah mengintroduksi gas hydrogen kedalam struktur batubara agar rasio perbandingan antara C/H menjadi kecil sehingga terbentuk senyawa-senyawa hidrokarbon rantai pendek berbentuk cair. Proses ini telah mencapai rasio konversi 70% batubara (berat kering) menjadi sintetik cair. Pada tahun 1994 proses DCL kembali dikembangkan sebagai komplementasi dari proses ICL terbesar setelah dikomersialisasikan oleh Sasol Corp. Tahun 2004 kerja sama pengembangan teknologi *upgrade* (antara China Shenhua *Coal Liquefaction Co. Ltd.* dengan *West Virginia University*) untuk komersialisasi DCL rampung, untuk kemudian pembangunan pabrik.

Proses Pencairan Batubara Muda rendah emisi (*Low Emission Brown Coal Liquefaction*). Tahapan proses pencairan batubara muda (*Brown Coal Liquefaction*). 1) Pengeringan/penurunan kadar air secara *efficient*. 2) Reaksi pencairan dengan limonite katalisator. 3) Tahapan

hidrogenasi untuk menghasilkan produk oil mentah. 4) *Deashing Coal Liquid Bottom/heavy oil* (CLB). 5) Fraksinasi/pemurnian *light oil* (desulfurisasi, pemurnian gas, destilasi produk)

Dengan adanya rencana pemasaran dan operasi penambangan batubara, maka pengadaan proses pengolahan batubara (*Coal Processing Plant/CPP*) bertujuan untuk mengolah batubara menjadi produk batubara (*product area*) yang sesuai dengan permintaan pasar[13]. Dengan mempertimbangkan beberapa hal, misalnya kualitas atau mutu cadangan batubara, metode penambangan yang terpilih, serta kualitas permintaan pasar. Rancang bangun unit pengolahan didasarkan pada faktor-faktor antara lain: target atau permintaan pasar rata-rata, kualitas batubara dari tambang (*raw coal*), spesifikasi produk akhir yang diminta, ketersediaan lahan untuk area pengolahan termasuk tempat penimbunan (*stockpile*) dan ketersediaan air di sekitar area pengolahan. Semua faktor tersebut di atas akan menentukan jenis, dimensi dan kapasitas peralatan atau mesin pengolahan yang dibutuhkan serta *flowsheet* pengolahan yang sesuai dengan memperhatikan unsur keselamatan kerja. Prosedur pengolahan memperlihatkan tahapan proses pengolahan batubara mulai dari penimbunan *raw coal* di lokasi pabrik pengolahan sampai produk akhir[11].

Distribusi ukuran batubara sebagai umpan hopper dan ukuran peremuk pertama hingga peremuk akhir dapat dilihat pada tabel 2.1 seperti berikut,

Tabel 2.1 Distribusi ukuran batubara

Ukuran umpan hopper (mm)	Ukuran produk peremuk pertama (mm)	Ukuran produk akhir unit peremuk (mm)
-700 + 600	-200 + 150	-100 + 50
-600 + 300	-150 + 100	-50 + 32
-300 + 150	-100 + 50	-32 + 10
-150 + 100	-50 + 32	-10 + 2
-100	-32	-2

Dari data yang ditunjukkan tabel 2.1 mengenai distribusi ukuran produk peremuk batubara, target ukuran batubara yang diharapkan sesuai dengan target perusahaan untuk dipasarkan dapat tercapai[17].

D. Kerangka pikir

Permintaan produksi batubara yang semakin meningkat dan terjadinya penurunan produksi akibat proses sistem maupun diluar sistem sehingga menyebabkan tidak tercapainya target sesuai harapan. Dengan meninjau proses sistem pengolahan batubara ditemukan adanya gangguan-gangguan baik ukuran umpan batubara, penumpukan batubara pada *primary crusher*. Perlunya pemodelan matematis agar sesuai kondisi real dan menghindari munculnya *variabel* yang unik. Dengan menemukan pemodelannya setiap model sistem dapat dibuat simulinknya mulai dari input sampai *output* dengan *listing* program matlab. Simulasi keadaan normal kemudian diberi gangguan dan diatasi dengan pengendali umpan maju untuk gangguan diameter dan kendali umpan balik (PID) untuk mengurangi tumpukan batubara pada *primary crusher*. Hasil simulasi keadaan normal dibandingkan saat diberi gangguan dengan menemukan parameter-parameter yang sesuai saat pengujian sehingga diperoleh hasil pengujian berhasil mengurangi gangguan yang ada.

E. Roadmap Penelitian

Beberapa penelitian yang terkait dengan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Optimasi Perawatan *Stone Crusher* Menggunakan *Reliability Centered Maintenance* (RCM)[16]. Dengan masalah bagaimana mendapatkan kegiatan perawatan yang optimum pada sistem *stone crusher* ditinjau dari *reliability* sistem dan bagaimana cara untuk menganalisa variabel dari data yang diperoleh yang bisa menunjukkan *indeks reliability* untuk mendapatkan waktu yang tepat untuk melakukan perawatan. Tujuannya adalah memperoleh kegiatan perawatan yang optimum

ditinjau dari *reliability* sistem dan menganalisa *variable* data untuk mendapatkan waktu yang tepat untuk melakukan perawatan pada sistem. Penelitian ini membahas tentang kegiatan perawatan yang optimum ditinjau dari *reliability* sistem dan menganalisa *variable* data untuk mendapatkan waktu yang tepat untuk melakukan perawatan pada sistem (*crusher stone*) pada *asphalt* .

- b. Melakukan Simulasi Kestabilan Sistem Kontrol Pada Permukaan Cairan Menggunakan Metode Kurva Reaksi pada Metode *Ziegler-Nichols* Berbasis Bahasa *Delphi* [15]. Untuk mempermudah mensimulasikan respon transiennya, serta dapat menghasilkan *respon transien* yang menunjukkan kestabilan dan performansi yang baik dengan metode kurva reaksi pada metode *Ziegler-Nichols*. Sistem dikatakan stabil apabila masukan acuan dan keluaran yang diinginkan terjadi suatu keseimbangan.

Penelitian yang akan dilakukan adalah bagaimana memodelkan *crusher* pada proses pengolahan batubara dan bagaimana merancang suatu sistem kendali *crusher*. Dengan merancang kendali untuk mengurangi gangguan pada *feed size* dan *capacity* batubara sehingga gangguan produksi batubara dapat *diminimalisir*.

Penelitian selanjutnya yang dapat memanfaatkan hasil penelitian ini adalah rancangan sistem kendali *crusher* dan ujicoba pengaplikasian kendalian pada PT. Pesona Khatulistiwa Nusantara dan di Indonesia sesuai dengan parameternya.