



**TUGAS AKHIR - TL141584**

**ANALISA PENGARUH DISTRIBUSI  
PARTIKEL DAN *PATCHING* TERHADAP  
PATAHAN GRITCONE PADA *VERTICAL  
ROLLER MILL* DENGAN SIMULASI  
EKSPLISIT DINAMIK LS-DYNA**

**MUHAMMAD YOGIE LATANSA  
NRP 2712 100 070**

Dosen Pembimbing :  
Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D.  
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017





**TUGAS AKHIR - TL141584**

**ANALYSIS OF PARTICLE DISTRIBUTION  
AND PATCHING TO GRITCONE  
FRACTURE USING EXPLICIT DYNAMIC  
SIMULATION LS-DYNA**

**MUHAMMAD YOGIE LATANSA  
NRP 2712 100 070**

Dosen Pembimbing :

Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D.

Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017



**ANALISA PENGARUH DISTRIBUSI PARTIKEL DAN  
PATCHING TERHADAP PATAHAN GRITCONE PADA  
VERTICAL ROLLER MILL DENGAN SIMULASI  
EKSPLISIT DINAMIK LS-DYNA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik  
Pada Bidang Korosi dan Analisa Kegagalan  
Program Studi – S1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**MOHAMMAD YOGIE LATANSA**

NRP. 2712 100 070

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Dr. Mas Irfan  
P. Hidayat, S.T, M.Sc, Ph.D.....(Pembimbing 1)
2. Ir. Rochman  
Rochiem, M.Sc.....(Pembimbing 2)



Laporan Tugas Akhir  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



---

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



---

**ANALISA PENGARUH DISTRIBUSI PARTIKEL DAN  
PATCHING TERHADAP PATAHAN GRITCONE PADA  
VERTICAL ROLLER MILL DENGAN SIMULASI  
EKSPRESIT DINAMIK LS-DYNA**

**Nama** : Muhammad Yogie Latansa  
**NRP** : 2712100070  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi, ITS  
**Dosen Pembimbing** : Mas Irfan P. H., ST., M.Sc., P.hD  
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

**ABSTRAK**

*Vertical roller mill (VRM)* adalah salah satu alat produksi yang ada pada PT. Holcim Indonesia, pada pengoperasian alat ini sering terjadi permasalahan berupa kegagalan pada gritcone. Kegagalan yang terjadi berupa kegagalan abrasi yang diawali dengan berkurangnya ketebalan pada dinding gritcone. Proses abrasi pada dinding gritcone ini merupakan awal terjadinya patahan. Proses perbaikan di lapangan yaitu dengan pemberian *patching* 3Cr12. Melihat seringnya kerusakan yang berulang maka dibutuhkan analisa pengaruh distribusi partikel dan pengaruh *patching* dimana kerusakan serupa dapat dihindari. Pada analisa distribusi partikel, semakin kecil distribusi partikel maka akan terjadi pemusatan tumbukan partikel dengan gritcone. Hal ini menyebabkan naiknya nilai pengurangan ketebalan dinding gritcone. Dari simulasi yang dilakukan didapatkan hasil bahwa distribusi pengurangan ketebalan dinding gritcone semakin naik seiring dengan semakin terpusatnya jumlah partikel. Besar pengurangan ketebalan dinding gritcone tanpa *patching* dengan persebaran partikel 75%, 90%, dan 100% masing-masing adalah  $3.099 \times 10^{-5}$ ,  $2.75 \times 10^{-6}$ , dan  $3.6 \times 10^{-6}$ . Sedangkan besar pengurangan ketebalan pada dinding gritcone dengan *patching* dengan variasi yang sama adalah  $4.48 \times 10^{-5}$ ,  $4.63 \times 10^{-5}$ ,  $4.653 \times 10^{-5}$

**Kata kunci** : LS-Dyna, vertical roller mill, optimasi, persebaran partikel, patching

---



---

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



---

## **ANALYSIS OF PARTICLE DISTRIBUTION AND PATCHING TO GRITCONE FRACTURE USING EXPLICIT DYNAMIC SIMULATION (LS-DYNA)**

**Name** : Muhammad Yogie Latansa  
**NRP** : 2712100070  
**Department** : Teknik Material dan Metalurgi, ITS  
**Advisor** : Mas Irfan P. H., ST., M.Sc., P.hD  
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

### **ABSTRACT**

Vertical roller mill (VRM) is one of the means of production that exist in PT. Holcim Indonesia, on the operation of this tool frequently arise in the form of a failure on gritcone. Failures such as the failure of abrasion that begins with the reduced thickness of the shell gritcone. Process improvements in the field, namely the provision of 3Cr12 patching. Seeing frequent repetitive defects, then the required analysis of the influence of the particle distribution and the effect of patching where similar damage can be avoided. In the analysis of the distribution of the particle, the smaller the particle distribution there will be a concentration of particle collisions with gritcone. From the simulations carried out showed that the reduction of the shell thickness distribution gritcone farther up in line with the convergence of the number of particles. Great reduction in shell thickness gritcone without patching the particle distribution of 75%, 90% and 100%, respectively  $3.099 \times 10^{-5}$ ,  $2.75 \times 10^{-6}$  and  $3.6 \times 10^{-6}$ . While large reduction in wall thickness gritcone by patching the same variation is  $4.48 \times 10^{-5}$ ,  $4.63 \times 10^{-5}$ ,  $4.653 \times 10^{-5}$

**Keyword : LS-Dyna, vertical roller mill, optimization, particle distribution, patching**



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



---

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh, Segala puji syukur senantiasa kita panjatkan atas pertolongan dan kehendak yang telah Allah berikan kepada penulis dalam proses menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“ANALISA PENGARUH DISTRIBUSI PARTIKEL DAN *PATCHING* TERHADAP PATAHAN GRITCONE PADA *VERTICAL ROLLER MILL* DENGAN SIMULASI EKSPLISIT DINAMIC LS-DYNA”**. Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Material & Metalurgi – Fakultas Teknologi Industri – Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Ditengah kelemahan dan kekurangan yang kami miliki, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua Orang tua penulis, Ayah Alex Prihermawan dan Ibu Tri Puji Rahayu yang senantiasa menjadi penyemangat, pemberi restu, pemberi doa, dan pemberi dukungan moril serta materiil sehingga penulis bisa sampai di titik ini.
2. Eka Putri Rifandani yang senantiasa memberi semangat, dukungan, dan doa.
3. Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc dan Bapak Mas Irfan P. Hidayat, ST., MT., Ph.D. selaku dosen pembimbing penulis yang selalu menyediakan waktu untuk memberikan ilmu dan pengalamannya.
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng sebagai Ketua Jurusan Teknik Material & Metalurgi.
5. Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc selaku dosen wali penulis.
6. Seluruh bapak ibu dosen dan karyawan di lingkungan Teknik Material & Metalurgi yang tak kenal lelah mencetak generasi-generasi terbaik unggulan bangsa.
7. Mas Essa Abu Bakar Wahid dan mbak Agita Offi Riani MT06 serta seluruh staff dan karyawan PT. Holcim

---

Laporan Tugas Akhir  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



- 
- Indonesia, Tbk. yang memberikan kesempatan bagi penulis untuk mengerjakan topik Tugas Akhir dan memberikan ilmu serta pengalamannya.
8. Rifqi Zufar Saputro, Caesario Isak Cornelis, Kamil Akbar Ernas Amarullah, Muhammad Yusuf Baihaqi dan seluruh penghuni Laboratorium Komputasi dan Pemodelan Material yang telah banyak membantu dan menjadi tempat berkeluh kesah tentang Tugas Akhir ini.
  9. Keluarga kecil Veteran MT14. Terima kasih atas kebersamaan selama 4 tahun lebih berkuliah di ITS.
  10. Keluarga terbaik, teman terhebat selama berkuliah di ITS, MT 14. Terimakasih atas pengalaman dan kebersamaan selama 4 tahun bersama berkuliah di ITS.
  11. Keluarga besar kontrakan Meteor Garden jalan Bahagia 2 nomer 47 yang selalu mengingatkan dan berbagi pengalaman.
  12. Seluruh orang hebat dan teman-teman penulis selama menempuh pendidikan di ITS yang tidak akan bisa disebutkan satu-persatu.

Penyusun menyadari adanya keterbatasan di dalam penyusunan laporan ini. Besar harapan penulis akan saran, dan kritik yang sifatnya membangun. Selanjutnya semoga tulisan ini dapat selalu bermanfaat. Aamiin.

Surabaya, Januari 2017

Penulis



---

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian sebelumnya.....	5
2.2 Analisa Kegagalan.....	6
2.3 Teori Kegagalan.....	9
2.4 <i>Vertical Roller Mill</i> .....	11
2.5 <i>Wear</i> disebabkan Partikel Solid.....	12
2.6 Analisa <i>Explicit Dynamic</i> .....	14
2.7 Elemen <i>Solid Shell</i> .....	14
2.8 Teori Keausan.....	19
2.9 Teori Kegagalan Von Mises.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	23
3.2 Materi Penelitian.....	23
3.2.1 Objek Penelitian.....	23
3.2.2 Peralatan Penelitian.....	25
3.3 Pemodelan dengan ANSYS 17.1.....	26



---

3.3.1	Pemodelan Gritcone.....	26
3.3.2	Properties Material.....	26
3.3.3	Meshing.....	27
3.3.4	Rancangan Penelitian.....	27
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>29</b>
4.1	Gritcone tanpa <i>patching</i> 3Cr12.....	30
4.1.1	Pengaruh persebaran partikel 75%.....	30
4.1.2	Pengaruh Persebaran partikel 90%.....	31
4.1.3	Pengaruh persebaran partikel 100%.....	35
4.2	Gritcone dengan <i>patching</i> 3Cr12.....	38
4.2.1	Pengaruh persebaran partikel 75%.....	38
4.2.2	Pengaruh persebaran partikel 90%.....	41
4.2.3	Pengaruh persebaran partikel 100%.....	45
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>49</b>
5.1	Kesimpulan.....	49
5.2	Saran.....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>xvii</b>



---

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Representasi teori tegangan normal maksimum.....	10
Gambar 2.2 Representasi teori tegangan geser maksimum.....	10
Gambar 2.3 Grafik representasi teori tegangan distorsi energi.....	11
Gambar 2.4 Kesetimbangan gaya pada partikel yang bersinggungan dengan permukaan.....	13
Gambar 2.5 <i>eight node solid shell element</i> .....	16
Gambar 2.6 Konstruksi permukaan acuan elemen shell solid.....	18
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	23
Gambar 3.2 Gambar 2D gritcone.....	24
Gambar 3.3 Diagram pemodelan menggunakan software ANSYS.....	26
Gambar 3.4 Hasil meshing gritcone.....	27
Gambar 4.1 Geometri gritcone dengan persebaran partikel 75%.....	31
Gambar 4.2 Distribusi pengurangan ketebalan dinding gritcone dengan variasi persebaran partikel 75%.....	31
Gambar 4.3 Grafik hubungan antara waktu dengan ketebalan dinding gritcone pada spesimen 1.....	32
Gambar 4.4 Geometri gritcone dengan persebaran partikel 90%.....	34
Gambar 4.5 Distribusi pengurangan ketebalan dinding gritcone dengan variasi persebaran partikel 90%.....	34
Gambar 4.6 Grafik hubungan antara waktu dengan ketebalan dinding gritcone pada spesimen 2.....	35
Gambar 4.7 Geometri gritcone dengan persebaran partikel 100%.....	36



---

Gambar 4.8 Distribusi pengurangan ketebalan dinding gritcone dengan variasi persebaran partikel 100%.....	36
Gambar 4.9 Grafik hubungan antara waktu dengan ketebalan dinding gritcone pada spesimen 3.....	37
Gambar 4.10 Geometri gritcone dengan persebaran partikel 75%.....	39
Gambar 4.11 Distribusi pengurangan ketebalan dinding gritcone dengan <i>patching</i> pada variasi persebaran partikel 75%.....	40
Gambar 4.12 Grafik hubungan antara waktu dengan ketebalan dinding gritcone pada spesimen 4.....	40
Gambar 4.13 Geometri gritcone dengan persebaran partikel 85%.....	42
Gambar 4.14 Distribusi pengurangan ketebalan dinding gritcone dengan <i>patching</i> pada variasi persebaran partikel 85%.....	43
Gambar 4.15 Grafik hubungan antara waktu dengan ketebalan dinding gritcone pada spesimen 5.....	43
Gambar 4.16 Geometri gritcone dengan persebaran partikel 100%.....	45
Gambar 4.17 Distribusi pengurangan ketebalan dinding gritcone dengan <i>patching</i> pada variasi persebaran partikel 100%.....	46
Gambar 4.18 Grafik hubungan antara waktu dengan ketebalan dinding gritcone pada spesimen 6.....	46



---

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin.....	7
Tabel 2.2 Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen mesin.....	7
Tabel 2.3 Kasus kegagalan material akibat kondisi kerja yang ekstrim.....	8
Tabel 3.1 Komposisi kimia material XAR400.....	25
Tabel 3.2 Sifat mekanik material XAR400.....	25
Tabel 3.3 Tabel rancangan penelitian.....	28
Tabel 3.4 Tabel timeline penelitian dari percobaan kali ini.....	28
Tabel 4.1 Kondisi simulasi kegagalan.....	28
Tabel 4.2 Hasil simulasi kegagalan pada Gritcone.....	29



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

PT Holcim Indonesia Tbk Holcim Indonesia memenuhi kebutuhan pembangunan di Indonesia dengan kapasitas produksi 15 juta ton semen per tahun. Kehadiran Holcim di Indonesia ditandai dengan beroperasinya empat pabrik di Lhoknga – Aceh, Narogong – Jawa Barat, Cilacap – Jawa Tengah dan Tuban – Jawa Timur. Kegiatan produksi ditunjang dengan adanya fasilitas penggilingan & terminal distribusi yang tersebar hingga ke Kalimantan dan Sumatra.

Proses pembuatan semen yang dilakukan oleh PT Holcim Indonesia Tbk Tuban-Plant terdiri atas 3 tahapan, yaitu: *Raw Materials Extraction, Blending and Clinkerization*, dan *Grinding and Distribution*. Pada tahapan *Raw Materials Extraction* terjadi proses ekstraksi limestone dan tanah liat menggunakan teknik drilling dan blasting. Selanjutnya adalah reduction size raw material dari ukuran 120 cm menjadi ukuran 1.2 cm dan 8 cm. Menggunakan conveyor, raw material yang telah mengalami reduction size diproses ke tahapan selanjutnya, yaitu *Blending and Clinkerization*. Pada tahapan ini, raw material berupa limestone dan tanah liat dihomogenisasi dengan cara dikumpulkan pada stockpile sebelum diproses pada Raw Mill. Pada tahapan Raw Mill terjadi proses penggilingan dan pengeringan Raw Material menggunakan coal mill. Pada pengoperasian coal mill ini sering terjadi permasalahan berupa terjadinya crack pada Gritcone dimana kerusakan ini terjadi pada daerah



tertentu. Melihat seringnya kerusakan yang berulang maka dibutuhkan analisa pengaruh distribusi partikel dimana kerusakan serupa dapat dihindari. Guna mendapatkan hasil penelitian yang baik untuk mengetahui distribusi partikel, dapat dilakukan pemodelan distribusi partikel pada gritcone tersebut.

Beberapa dekade belakangan ini, telah banyak dilakukan eksperimen dan pemodelan dengan menggunakan konsep *Explicit Dynamic (LS-Dyna)* yang bertujuan untuk mengamati interaksi antara partikel coal dengan permukaan gritcone dan distribusi tegangan pada komponen gritcone. Metode pemodelan secara numerik ini banyak dilakukan karena dapat menjadi bahan evaluasi yang efektif dan efisien dalam penelitian. Penggunaan simulasi dengan software ANSYS dilakukan karena lebih efisien waktu dan harga. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis pengaruh kecepatan semburan udara panas terhadap patahan gritcone dengan menggunakan software ANSYS/Mechanical APDL Product Launcher Version 17.1 untuk memperoleh simulasi yang optimal.

## 1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh distribusi partikel terhadap kegagalan gritcone?
2. Bagaimana mekanisme keausan pada dinding gritcone akibat adanya tumbukan partikel batu bara?
3. Bagaimana pengaruh *patching* plat 3Cr12 terhadap kegagalan gritcone?



---

### 1.3 Batasan masalah

Untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan referensi serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau maka terdapat beberapa batasan masalah yang perlu diperhitungkan, yaitu:

1. Kondisi operasi diasumsikan sesuai dengan standar.
2. Posisi pemasangan diasumsikan sudah sesuai dengan prosedur.
3. Komponen gritcone pada vertical roller mill memiliki komposisi material dan sifat mekanik yang homogen.

### 1.4 Tujuan penelitian

1. Menganalisis pengaruh distribusi ukuran partikel terhadap kegagalan gritcone.
2. Menganalisa mekanisme keausan pada dinding gritcone.
3. Menganalisis pengaruh *patching* plat 3Cr12 terhadap kegagalan gritcone.

### 1.5 Manfaat penelitian

Adapun manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah didapatkan informasi mengenai distribusi tegangan pada gritcone akibat pengaruh distribusi ukuran partikel. Hal ini dapat menjadi acuan pencegahan terjadinya kembali kegagalan yang serupa pada gritcone dan dasar pengembangan pada ilmu berikutnya.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian sebelumnya**

Kegiatan analisa kegagalan ditujukan untuk mengetahui penyebab terjadinya kerusakan yang spesifik dari peralatan, perlengkapan, dan instalasi pabrik serta untuk menentukan tindakan pencegahan agar kerusakan tidak terulang. Manfaat dari analisis kegagalan ini dalam jangka pendek diharapkan dapat memperbaiki desain, proses dan metode fabrikasi peralatan. Untuk jangka panjang digunakan dalam rangka pengembangan material dan sebagai metoda terkini, untuk evaluasi dan memperkirakan unjuk kerja material, serta untuk memperbaiki sistem pemeliharaan dimana hal ini sangat penting dan banyak berguna pada dunia industry, hehingga banyak peneliti yang tertarik dan melakukan penelitian pada bidang ini.

Samayamutthirian Palaniandy (2003) meneliti proses optimasi grinding yang terdapat pada vertical roller mill. Dalam proses pencampuran raw material digunakan dua parameter, yaitu: laju pemakanan dan tekanan roller grinding. Karakteristik fisik dan kimia dari raw material yang digunakan pada penelitian ini adalah ukuran partikel, kelembaban, kadar silika, dan kandungan kuarsa. Fungsi laju penghancuran (breakage rate function) ditentukan melalui nilai R/D. Pada penelitiann tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa laju pemakanan mill, kadar silika, kandungan kuarsa pada tanah liat memberikan efek pada distribusi ukuran partikel.

Shuang Wang (2015) melakukan penelitian terhadap persebaran temperatur tinggi pada sistem partikel logam yang terkompaksi yang dibentuk dengan metode kompaksi kecepatan tinggi dengan menggunakan simulasi *Discrete Element Method*. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa perpindahan panas antar partikel terjadi sangat cepat dan kenaikan



temperatur dalam sistem partikel diikuti dengan hubungan nonlinear dengan waktu.

Steffen Abe (2016) melakukan penelitian terhadap pengaruh micro-crack pada parameter elastis sebuah batuan dengan metode simulasi *Discrete Element Method* yang dimana hasil simulasi dibandingkan dengan prediksi dari teori mekanika kerusakan. Dari penelitian ini didapatkan material model *Discrete Element Method* dalam kondisi terkompresi menunjukkan perilaku yang serupa dengan yang diprediksi sebelumnya berdasarkan pendekatan “*sliding crack*”. Material model *Discrete Element Method* menunjukkan adanya kenaikan nilai Poisson’s ratio dan penurunan nilai modulus Young’s seiring dengan adanya kenaikan densitas micro-crack.

## 2.2 Analisa kegagalan

Kegagalan atau kerusakan yang biasa terjadi bisa terjadi karena 2 hal yaitu karena umur pakai komponen yang sudah saat nya rusak atau memang karena adanya factor lain yang bisa menyebabkan kerusakan sehingga sebelum umur pakai nya komonen sudah mengalami kerusakan. Jika kerusakan terjadi sebelum umur pakai yang seharusnya maka dibutuhkan suatu analisa untuk mengetahui penyebab terjadinya kegagalan tersebut, sehingga selanjutnya kerusakanyang serupa dapat dihindari.

Menurut sumber-sumber penelitian yang ada di dunia industri (Brook & Choudury, 2002), faktor penyebab kegagalan yang sering terjadi di dunia industri dapat dikarenakan karena beberapa hal yaitu sebagai berikut:

**Faktor kesalahan Pemilihan Material**, pada tabel 2.1 dibawah ini menunjukkan statistik tentang permasalahan dalam masalah kegagalan material



**Tabel 2. 1** Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin  
(Brook & Choudury, 2002)

<b>Permasalahan</b>	<b>Presentase (%)</b>
<b>Kesalahan pemilihan material</b>	38
<b>Cacat produksi</b>	15
<b>Kesalahan perlakuan panas</b>	15
<b>Kesalahan desain mekanik</b>	11
<b>Kondisi operasi yang berlebihan</b>	8
<b>Kondisi lingkungan yang tidak terkontrol</b>	6
<b>Pemeriksaan yang kurang baik</b>	5
<b>Material yang tidak jelas</b>	2

**Perawatan Komponen yang Kurang Baik.** Proses perawatan komponen mesin yang kurang baik termasuk salah satu penyebab kegagalan yang paling dominan. Tabel 2.2 menunjukkan data mengenai kasus kegagalan material yang terjadi.

**Tabel 2. 2** Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen mesin  
(Brook & Choudury, 2002)

<b>Permasalahan</b>	<b>Prosentase (%)</b>
<b>Perawatan yang kurang baik</b>	44
<b>Cacat saat fabrikasi</b>	17
<b>Defisiensi desain</b>	16
<b>Pemakaian yang abnormal</b>	10
<b>Cacat material</b>	7
<b>Penyebab yang tidak jelas</b>	6



**Kesalahan dalam Perancangan Komponen.** Faktor kesalahan dalam proses perancangan komponen mesin adalah sebagai berikut:

- Kegagalan ulet akibat pembebanan yang melebihi kekuatan material
- Kegagalan getas akibat beban kejut
- Kegagalan pada temperatur tinggi (pemuluran)
- Static delayed fracture
- Proses perancangan yang terlalu banyak memicu konsentrasi tegangan seperti takikan
- Analisa tegangan komponen yang kurang detail yang menyebabkan rawan terjadi kegagalan akibat overload
- Kesalahan dalam menentukan material dari komponen mesin sehingga mempengaruhi hitungan yang dilakukan.

**Kondisi Kerja yang Ekstrim.** Permasalahan yang spesifik dalam kegagalan komponen mesin akibat kondisi kerja yang ekstrim disajikan dalam Tabel 2.3 berikut ini:

**Tabel 2. 3** Kasus kegagalan material akibat kondisi kerja yang ekstrim  
(Brook & Choudury, 2002)

<b>Permasalahan</b>	<b>Prosentase (%)</b>
<b>Korosi</b>	29
<b>Kelelahan (fatigue)</b>	25
<b>Kegagalan getas (brittle fracture)</b>	16
<b>Kelebihan beban</b>	11
<b>Korosi temperature tinggi</b>	7
<b>Korosi SCC, korosi lelah pemuluran hidrogen</b>	6
<b>Pemuluran</b>	3
<b>Abrasi, erosi</b>	3



### 2.3 Teori kegagalan

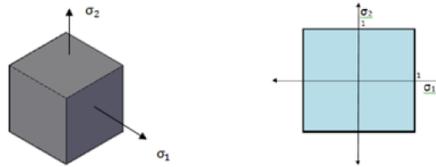
Kegagalan dapat terjadi karena beberapa faktor yaitu beban statik dan beban mekanis, sehingga sering timbulnya tegangan akibat beban yang melebihi *yield strength*. Pada dasarnya kegagalan dapat terjadi dikarenakan besaran akibat kondisi operasi > sifat kritis material.

Pada umumnya teori kegagalan terbagi menjadi tiga yaitu :

1. Kegagalan statik / *static failure* Kegagalan statik adalah kegagalan yang disebabkan adanya beban dari luar secara statik seperti adanya pengaruh tekanan, beban, momen dan statik lainnya.
2. Kegagalan fatigue / *fatigue failure* Kegagalan fatigue adalah kegagalan yang terjadi karena dipengaruhi oleh waktu dan juga akibat adanya pembebanan secara dinamik yang menyebabkan suatu struktur menjadi lelah.
3. Kegagalan retak / *fracture failure* Kegagalan yang terjadi dikarenakan pengaruh lingkungan.

Pada kegagalan secara statik dapat terbagi menjadi tiga teori, yaitu :

- a. Teori tegangan normal maksimum Kegagalan akan terjadi apabila tegangan utama maksimum sama atau lebih besar dibandingkan tegangan normal maksimum. Untuk tegangan normal positif, keadaan suatu material dikatakan luluh jika misal ada suatu pembebanan dengan  $\sigma_{max}$ . Dari gambar di bawah ini menjelaskan kriteria tegangan normal maksimum. Kegagalan akan terjadi jika kondisi tegangan akibat pembebanan berada diluar batas. Berikut gambar penjelasan teori tegangan normal maksimum :

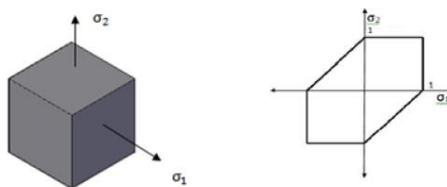


**Gambar 2.1** Representasi teori tegangan normal maksimum

(a) Tegangan normal pada gambar 3D ; (b) Tegangan normal dalam 2D

- b. Teori tegangan geser maksimum Teori tegangan geser maksimum sering digunakan pada material yang bersifat ulet. Besarnya nilai tegangan geser maksimum adalah setengah dari nilai tegangan normal maksimum. Keadaan suatu material luluh jika misal ada suatu pembebanan dengan  $\tau_{\max}$ .

Dari gambar di bawah ini menjelaskan kriteria tegangan geser maksimum. Kegagalan akan terjadi jika kondisi tegangan akibat pembebanan berada diluar batas. Berikut gambar penjelasan teori tegangan geser maksimum :



**Gambar 2.2** Representasi teori tegangan geser maksimum

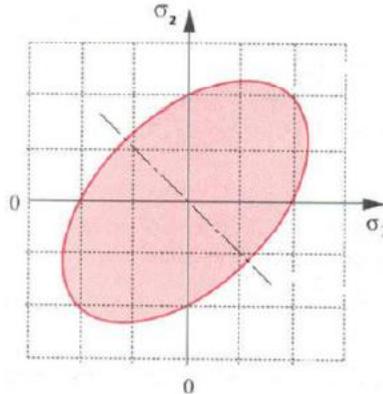
- c. Distorsi energy

Aplikasi dari teori tegangan geser maksimum sering digunakan untuk kasus pada material ulet. Keadaan suatu material akan luluh jika adanya suatu



---

pembebanan dengan S. Berikut grafik tegangan distorsi energi dalam 2D:



**Gambar 2.3** Grafik representasi teori tegangan distorsi energy Penggunaan tiga teori kegagalan yang ada, disesuaikan dengan material yang dipakai. Untuk material getas, teori tegangan normal lebih efektif digunakan, sedangkan untuk material ulet teori tegangan geser dan teori distorsi energi lebih efektif digunakan.

#### **2.4 Vertical Roller Mill**

*Vertical roller mill (VRM)* merupakan salah satu alat *grinding* yang terdapat dalam industri semen. Ukuran vertical roller mill bekisar antara 2 sampai 6 M tergantung pada diameter *table*. Vertical roller mill didesign untuk proses grinding berbagai macam raw material seperti: batu kapur, tanah liat, dan batu bara dengan perbedaan kohesi, particle size distribution (PSD), dan kekerasan. *Vertical roller mill* dilengkapi dengan 4 proses utama, yaitu: *grinding, dying, separation, transport*. Secara umum proses dalam *vertical roller mill* dapat dijelaskan sebagai berikut:



1. Grinding: proses pengurangan ukuran partikel bahan dari bentuk kasar menjadi ukuran yang lebih halus. Proses ini dilakukan dengan cara meletakkan raw material pada grinding table lalu dilewatkan pada roller mill. Metode kominusi merupakan metode yang paling efisien dalam sebuah proses grinding.
2. Separation: material yang telah mengalami pengurangan ukuran akan menuju ke separator dengan cara diangkat menggunakan udara panas. Di dalam separator, material yang masih kasar akan jatuh kembali pada grinding table. Sedangkan yang telah halus akan melewati separator dan memasuki proses selanjutnya. Proses pengeringan material terjadi pada grinding dan separation.
3. Drying: Proses pengeringan terjadi selama proses penggilingan dan proses pemisahan.
4. Transport: pada proses ini udara panas berperan sebagai pengangkut material. Selanjutnya, material yang telah melewati separator akan dikumpulkan pada silo penyimpanan.

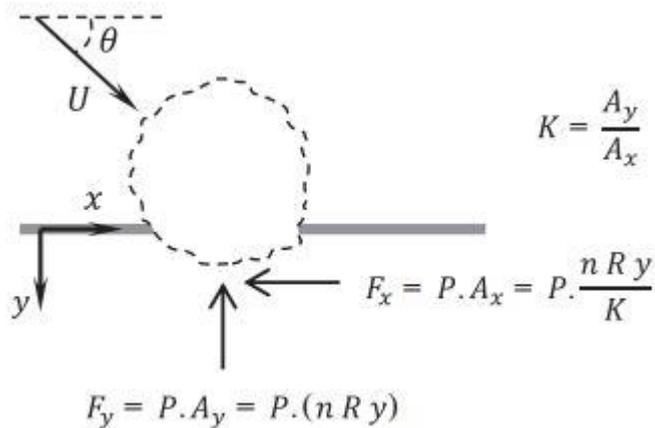
### **2.5 Wear disebabkan oleh Partikel Solid**

Erosi dari material yang disebabkan tumbukan partikel solid adalah salah satu bentuk degradasi wear atau aus yang membahayakan integritas dari flow boundaries dan fungsi dari komponen bergerak dalam aliran yang mengandung partikel. Aplikasi ini tidak terbatas pada produksi, proses, dan fasilitas transportasi perminyakan, power plant, atau industri dirgantara. Produksi pasir dari cadangan minyak dan gas bias menyebabkan erosi cepat dan aus dari komponen produksi dan proses serta jalur transportasi (Arabnejad, 2014). Maka, memprediksi erosi yang disebabkan berbagai ukuran dan bentuk partikel solid merupakan kebutuhan penting baik dari



segi ekonomi maupun segi keamanan. Pendekatan komprehensif untuk memprediksi kerusakan erosi dari suatu geometri dan aliran tertentu mempunyai tiga bidang utama, yaitu flow modeling, particle tracking, dan erosion prediction. Saat ini, kebanyakan studi lebih bermanfaat untuk memahami perilaku material selama dikenai dampak dan karakterisasi dari mekanisme erosi, dibandingkan mengkalkulasi erosi dari kondisi tertentu.

Erosi disebabkan adanya partikel yang bergerak dan bertumbukan dengan suatu permukaan. Partikel tersebut mempunyai gaya yang mempertahankan gerak yang ditunjukkan pada gambar 2.3.



**Gambar 2.4** Kestimbangan gaya pada partikel yang bersinggungan dengan permukaan.

Dimana  $m$  adalah massa partikel,  $P$  adalah pressure aliran yang diasumsikan sebagai nilai kekerasan Vickers dari material,  $n$  adalah rasio area kontak antara partikel dengan material, dan  $R$  adalah ukuran partikel. Dewasa ini, banyak studi literatur yang menunjukkan bahwa efek dari ukuran partikel pada erosi



tidak banyak berpengaruh untuk partikel dengan ukuran lebih besar dari 100  $\mu\text{m}$  (Arabnejad, 2015)

## 2.6 Analisa *Explicit Dynamic*

Pada penelitian ini penulis menggunakan analisa explicit dynamic, dimana terdapat beberapa perbedaan dengan analisa implisit. Dalam analisa statis, efek dari masa (inersia) dan/atau damping tidak diperhitungkan, berbeda dengan analisa dinamis dimana gaya pada node berhubungan dengan efek inersia dan damping

Dalam analisa implisit nonlinier, hasil dari setiap langkah perhitungan membutuhkan beberapa iterasi untuk membentuk kesetimbangan dengan toleransi tertentu. Pada analisa eksplisit, iterasi tidak dibutuhkan karena akselerasi dari node dihitung secara langsung.

Dalam analisa dinamis eksplisit, akselerasi node diselesaikan langsung tanpa iterasi dengan melakukan inversi pada diagonal matriks massa dikalikan dengan vector tegangan node dimana tegangan node dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti *pressure*, *body forces*, kontak permukaan, tegangan elemen, *damping*, *bulk viscosity*, dan *hourglass control*. (LSTC, 2006)

## 2.7 Elemen *Solid Shell*

Pada penelitian yang dilakukan secara explicit dynamic menggunakan element brick delapan node dengan acuan persamaan shell Hudhes-Liu dan Belytschko-Lin-Tsay. Dimana geometri diinterpolasikan dari kordinat titik node sebagai

$$x_i(X_\alpha, t) = x_i(X_\alpha(\xi, \eta, \zeta), t) = \sum_{j=1}^8 \phi_j(\xi, \eta, \zeta) x_i^j(t) \quad (2.1)$$

dimana fungsi bentuk  $\phi_j$  didefinisikan sebagai

$$\phi_j = \frac{1}{8} (1 + \xi \xi_j) (1 + \eta \eta_j) (1 + \zeta \zeta_j) \quad (2.2)$$



dimana  $\xi_j, \eta_j, \zeta_j$  mempunyai nilai node  $(\pm 1, \pm 1, \pm 1)$  dan  $x_j^i$  adalah koordinat node ke- $j$  dalam arah ke- $i$  seperti pada gambar 2.4

Sebagai sebuah elemen solid, N adalah matriks interpolasi kotak  $3 \times 24$

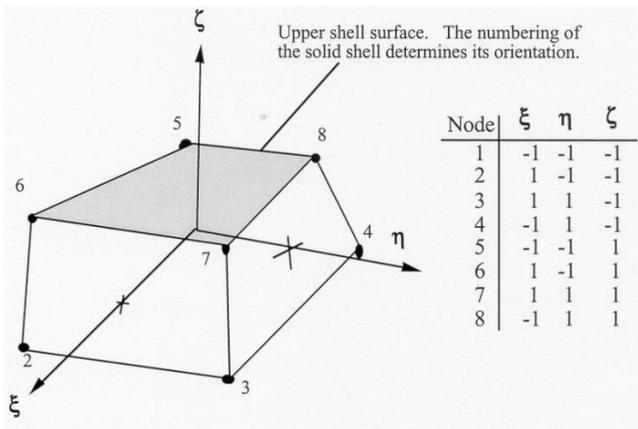
$$N(\xi, \eta, \zeta) = \begin{bmatrix} \phi_1 & 0 & 0 & \phi_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \phi_1 & 0 & 0 & \phi_2 & \dots & \phi_8 & 0 \\ 0 & 0 & \phi_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & \phi_8 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

$\sigma$  adalah vektor tegangan:

$$\sigma^t = (\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}, \sigma_{xy}, \sigma_{yz}, \sigma_{zx}) \quad (2.4)$$

dan B adalah matriks *strain-displacement*  $6 \times 24$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial x} & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \end{bmatrix} \quad (2.5)$$



**Gambar 2.5** *eight node solid shell element*

Matriks strain-displacement sudah siap untuk dikalkulasi. Tandai bahwa

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \phi_i}{\partial \xi} &= \frac{\partial \phi_i}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial \xi} + \frac{\partial \phi_i}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \xi} + \frac{\partial \phi_i}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial \xi} \\
 \frac{\partial \phi_i}{\partial \eta} &= \frac{\partial \phi_i}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial \eta} + \frac{\partial \phi_i}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \eta} + \frac{\partial \phi_i}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial \eta} \\
 \frac{\partial \phi_i}{\partial \zeta} &= \frac{\partial \phi_i}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial \zeta} + \frac{\partial \phi_i}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \zeta} + \frac{\partial \phi_i}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial \zeta}
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

bisa ditulis ulang sebagai

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \phi_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial \phi_i}{\partial \eta} \\ \frac{\partial \phi_i}{\partial \zeta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} & \frac{\partial z}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} & \frac{\partial z}{\partial \eta} \\ \frac{\partial x}{\partial \zeta} & \frac{\partial y}{\partial \zeta} & \frac{\partial z}{\partial \zeta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial \phi_i}{\partial x} \\ \frac{\partial \phi_i}{\partial y} \\ \frac{\partial \phi_i}{\partial z} \end{bmatrix} = J \begin{bmatrix} \frac{\partial \phi_i}{\partial x} \\ \frac{\partial \phi_i}{\partial y} \\ \frac{\partial \phi_i}{\partial z} \end{bmatrix}
 \tag{2.7}$$

dengan melakukan invers pada matriks Jacobian,  $J$ , bisa didapatkan bentuk



$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \phi_i}{\partial x} \\ \frac{\partial \phi_i}{\partial y} \\ \frac{\partial \phi_i}{\partial z} \end{bmatrix} = J^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial \phi_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial \phi_i}{\partial \eta} \\ \frac{\partial \phi_i}{\partial \zeta} \end{bmatrix}$$

Untuk mendapatkan perilaku seperti shell dari sebuah elemen solid, penting untuk menggunakan beberapa titik integrasi sepanjang ketebalan shell di sepanjang sumbu  $\xi$  ketika memberikan tekanan pada bidang. Oleh karena itu, penting untuk menyusun permukaan acuan di dalam komponen shell. Pada elemen shell Belytschko-Lin-Tsay permukaan acuan terletak di antara permukaan atas dan permukaan bawah dengan persamaan matriks

$$\{A\} = \begin{Bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{1x} & e_{2x} & e_{3x} \\ e_{1y} & e_{2y} & e_{3y} \\ e_{1z} & e_{2z} & e_{3z} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \hat{A}_x \\ \hat{A}_y \\ \hat{A}_z \end{Bmatrix} = [\mu]\{\hat{A}\} = [q]^T\{\hat{A}\} \quad (2.9)$$

seperti pada shell Hughes-Liu, langkah berikutnya adalah melakukan pembaruan pada *Jaumann rate*

$$\underline{\sigma}_{ij}^{n+1} = \sigma_{ij}^n + \sigma_{ij}^n \Delta \omega_{pj} + \sigma_{jp}^n \Delta \omega_{pi} \quad (2.10)$$

untuk menghitung rotasi material antara *time steps*  $n$  dan  $n+1$ . Pembaruan Jaumann rate pada tensor tegangan diaplikasikan pada konfigurasi global sebelum evaluasi pokok dilakukan. Di dalam solid shell seperti shell Hughes-Liu, stress dan histori variabel tersimpan di sistem koordinat global. Untuk mengevaluasi hubungan pokok, kenaikan tegangan dan regangan dirotasikan dari koordinat global ke sistem koordinat lokal menggunakan transformasi yang dinyatakan dengan:

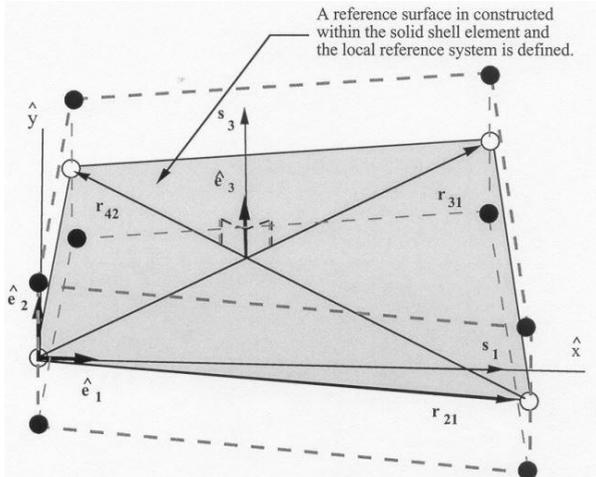


$$\underline{\sigma}_{ij}^{l^{n+1}} = q_{ik} \underline{\sigma}_{kn}^{n+1} q_{jn} \quad (2.11)$$

$$\Delta \varepsilon_{ij}^{l^{n+1/2}} = q_{ik} \Delta \varepsilon_{kn}^{n+1/2} q_{jn} \quad (2.12)$$

Dimana pangkat l menunjukkan komponen berada di sistem koordinat local. Tegangan diperbarui setiap ada kenaikan:

$$\sigma_{ij}^{l^{n+1}} = \underline{\sigma}_{ij}^{l^{n+1}} + \Delta \sigma_{ij}^{l^{n+1/2}} \quad (2.13)$$



**Gambar 2.6** Konstruksi permukaan acuan elemen shell solid Terpisah dari evaluasi pokok

$$\sigma_{33}^l = 0 \quad (2.14)$$

yang memastikan bahwa kondisi tegangan permukaan terpenuhi, pembaruan dilakukan pada tegangan normal yang digunakan sebagai toleransi untuk menjaga ketebalan dari shell:

$$\sigma_{33}^{penalty^{n+1}} = \sigma_{33}^{penalty^{n+1}} + E \Delta \varepsilon_{33}^l \quad (2.15)$$

dimana E adalah modulus Young dari material. Persamaan tensor tegangan dirotasikan kembali ke sistem global:

$$\sigma_{ij}^{n+1} = q_{ki} \sigma_{kn}^{n+1} q_{nj} \quad (2.16)$$



Toleransi tensor tegangan kemudian dibentuk dengan cara mentransformasikan toleransi normal tensor tegangan kembali ke sistem global:

$$\sigma_{ij}^{penalty^{n+1}} = q_{ki} \sigma_{kn}^{penalty^{n+1}} q_{nj} \quad (2.17)$$

sebelum menghitung vektor gaya internal. Gaya internal bisa dihitung dengan:

$$f^{int} = \int B^{t^{n+1}} [\sigma^{n+1} + \sigma^{penalty^{n+1}}] dv \quad (2.18)$$

brick shell menunjukkan tidak ada masalah apabila pendekatan tersebut diaplikasikan (LSTC, 2006)

## 2.8 Teori Keausan

Keausan dapat didefinisikan sebagai kerusakan permukaan akibat pengaruh dari lingkungan dan salah satunya adalah karena adanya pergerakan cepat dua buah permukaan yang saling bersentuhan. Lipson mengkualifikasikan tipe keausan berdasarkan kategori berikut:

1. *Galling* (disebut juga *scuffing*)  
Tipe keausan ini terjadi karena adanya dua benda kerja yang bersifat kasar lalu dilakukan proses pengelasan. Tipe keausan ini terjadi secara adhesi
2. Abrasi  
Partikel yang melakukan kontak dengan permukaan yang lebih kasar dapat menyebabkan keausan yang bersifat abrasif. Partikel ini melekat pada permukaan yang halus dan berusaha untuk bergesekan dengan permukaan yang lebih kasar.
3. *Pitting*  
Tipe keausan ini terjadi karena adanya kontak tegangan dan merupakan bagian dari *surface fatigue*.
4. *Fretting corrosion*



Merupakan tipe keausan yang terjadi karena adanya konstruksi yang bergerak dengan mengalami gesekan. Jenis korosi ini biasa terjadi pada sumbu yang berputar dan bergesekan.

5. Cavitation erosion

Terjadi karena tingginya kecepatan cairan menciptakan daerah-daerah bertekanan tinggi dan rendah secara berulang-ulang pada permukaan peralatan dimana cairan tersebut mengalir. (Deutschman, 1975)

## 2.9 Teori Kegagalan Von Mises

Von Mises (1913) menyatakan bahwa akan terjadi luluh bilamana invarian kedua deviator tegangan  $J_2$  melampaui harga kritis tertentu

$$J_2 = k^2 \quad (2.19)$$

di mana  $J_2 = \frac{1}{6}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]$ .

Untuk evaluasi tetapan  $k$  dan menghubungkannya dengan luluh dalam uji-tarik, kita ketahui bahwa luluh dalam uji-tarik uniaksial terjadi bila:  $\sigma_1 = \sigma_0, \sigma_2 = \sigma_3 = 0$

$$\sigma_0^2 + \sigma_0^2 = 6k^2$$

$$\sigma_0 = \sqrt{3} k \quad (2.20)$$

Substitusi persamaan (2.20) ke dalam persamaan (2.19) maka akan menghasilkan bentuk kriteria luluh Von Mises.

$$\sigma_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{1/2} \quad (2.21)$$

Atau bisa ditulis dengan

$$\sigma_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)]^{1/2} \quad (2.22)$$



---

Dari persamaan (2.21) dan (2.22) dapat diprediksi bahwa luluh akan terjadi apabila selisih tegangan pada sisi kanan persamaan melampaui tegangan luluh dalam uji-tarik uniaksial  $\sigma_0$  (Dieter, 1986)

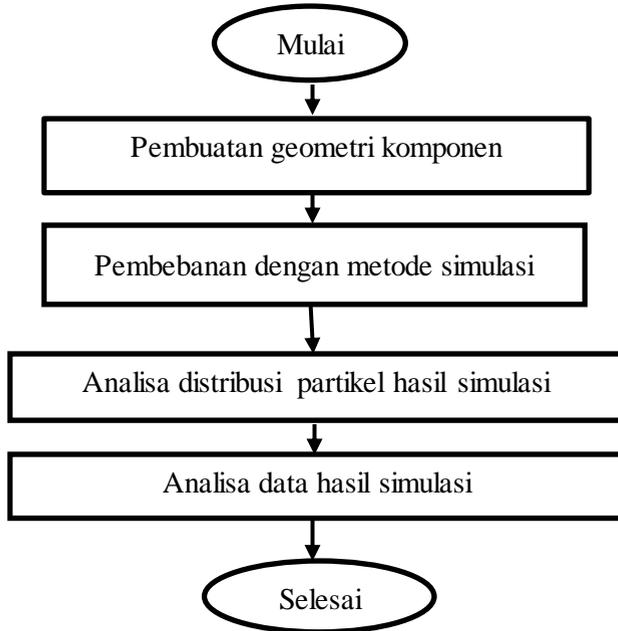


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

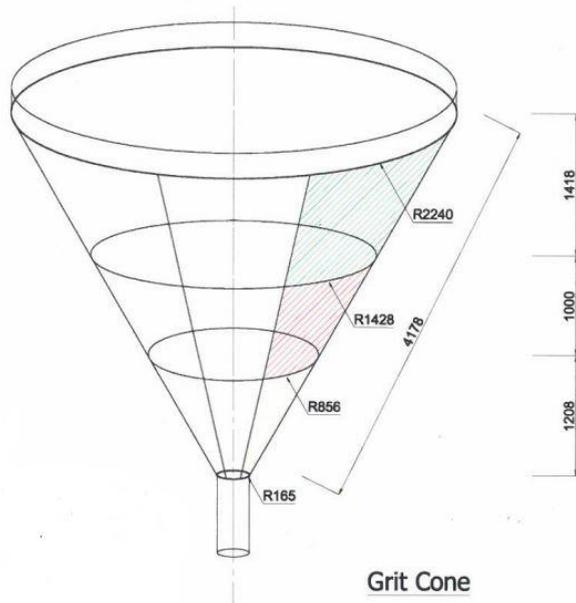


**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Materi Penelitian

#### 3.2.1 Objek Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah *grit cone* yang terdapat pada *vertical roller mill* yang dapat dilihat pada gambar dibawah:



**Gambar 3.2** Gambar 2D *Grit cone*



Material yang digunakan pada *grit cone* tersebut adalah XAR400 dengan komposisi kimia sebagai berikut:

**Tabel 3.1** Komposisi Kimia Material XAR400  
(Thyssenkrupp, 2014)

Unsur	%
C	$\leq 0.20$
Si	$\leq 0.80$
Mn	$\leq 1.50$
P	$\leq 0.020$
S	$\leq 0.007$
Cr	$\leq 1.00$
Mo	$\leq 0.50$
B	$\leq 0.005$

**Tabel 3.2** Sifat Mekanik Material XAR400  
(Thyssenkrupp, 2014)

Sifat Mekanik	XAR400
Hardness (HBW)	370-430
Yield strength (MPa)	1000
Sifat Mekanik	XAR400
Elongation (%)	10
Tensile Strength (MPa)	1250

### 3.2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah software ANSYS release 17.1. ANSYS release 17.1 merupakan suatu perangkat lunak komputer yang mampu menyelesaikan persoalan-persoalan elemen hingga dari pemodelan hingga analisis dengan keakuratan yang cukup tinggi.

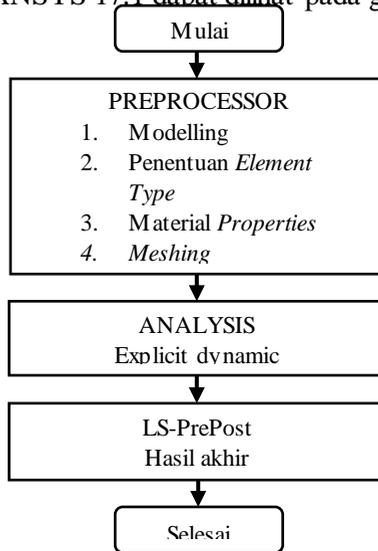
Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



### 3.3 Pemodelan dengan ANSYS 17.1

Adapun diagram alir pemodelan gritcone menggunakan ANSYS 17.1 dapat dilihat pada gambar 3.3:



**Gambar 3.3** Diagram pemodelan menggunakan software ANSYS

#### 3.3.1 Pemodelan gritcone

Design geometri gritcone dibuat di software ANSYS release 17.1. Tipe elemen solid yang digunakan adalah *thin shell 163* dan *mass 166*.

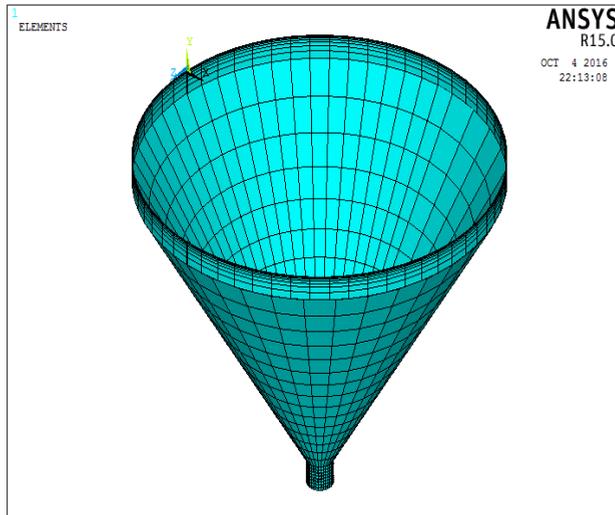
#### 3.3.2 Properties material

Pada penelitian ini dilakukan input data material XAR400 sebagai bahan penyusun material *grit cone*, data sifat mekanik material pada tabel sebelumnya dimasukkan kedalam data linear isotropik. Pengujian *explicit dynamic* dilakukan dengan mensimulasikan pengaruh distribusi ukuran partikel yang terlokalisasi.



### 3.3.3 Meshing

Metode meshing yang digunakan pada desain *grit cone* adalah metode free mesh dengan ukuran 6, berikut merupakan gambar hasil meshing model dari komponen *grit cone*, terlihat pada gambar 3.4



**Gambar 3.4** Hasil meshing gritcone

### 3.3.4 Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan analisis distribusi tegangan pada masing-masing desain sehingga dapat diketahui titik-titik kritis dari komponen tersebut. Variasi distribusi partikel yang di analisis adalah sebagai berikut:

1. Variasi distribusi 75%
2. Variasi distribusi 90%
3. Variasi ditribusi 100%

Secara garis besar rancangan penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini bisa dilihat pada table 3.3:



**Tabel 3. 3** Tabel Rancangan Penelitian

Spesimen	Ukuran Partikel ( $\mu\text{m}$ )	Ketebalan Awal (m)	Variasi Persebaran	Kondisi
1	100	0.01	75%	Tanpa <i>Patching</i>
2	100	0.01	90%	Tanpa <i>Patching</i>
3	100	0.01	100%	Tanpa <i>Patching</i>
4	100	0.01	75%	<i>Patching</i>
5	100	0.01	90%	<i>Patching</i>
6	100	0.01	100%	<i>Patching</i>

Berikut ini adalah rancangan penelitian atau Timeline dari dari percobaan kali ini:

**Tabel 3.4** Tabel timeline penelitian dari percobaan kali ini

	Minggu ke-													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Pembuatan Proposal	■	■	■	■										
pembuatan Geometri		■	■	■	■	■								
Simulasi dengan variasi geometri						■	■	■						
Analisa Simulasi							■	■	■	■	■			
Pembuatan Laporan										■	■	■	■	
Sidang												■	■	■

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses simulasi mengenai fenomena abrasi telah dilakukan pada berbagai kondisi yang berbeda, dimana seluruhnya dilakukan dengan analisis dinamik eksplisit dengan pemberian beban berupa abrasi yang dilakukan oleh partikel bermassa dan mempunyai kecepatan awal. Proses pembuatan geometri untuk simulasi disesuaikan dengan kondisi di lapangan, yaitu tanpa menggunakan *patching* plat 3Cr12 dan menggunakan *patching* plat 3Cr12. Pada penelitian ini digunakan variasi persebaran partikel batu bara sebesar 75%, 90%, dan 100%. Hasil yang didapatkan dari simulasi berupa ketebalan maksimal dan minimal pada dinding *gritcone* dan ketebalan maksimal dan minimal pada *patching* plat 3Cr12.

**Tabel 4.1** Kondisi simulasi kegagalan

Spesimen	Ukuran Partikel ( $\mu\text{m}$ )	Ketebalan Awal (m)	Variasi Persebaran	Kondisi
1	100	0.01	75%	Tanpa <i>Patching</i>
2	100	0.01	90%	Tanpa <i>Patching</i>
3	100	0.01	100%	Tanpa <i>Patching</i>
4	100	0.01	75%	<i>Patching</i>
5	100	0.01	90%	<i>Patching</i>
6	100	0.01	100%	<i>Patching</i>

Setelah proses simulasi, hasil simulasi dapat diamati dengan menggunakan software LS-PrePost. Melalui software ini hasil dianimasikan lalu didapatkan hasil berupa ketebalan maksimal dan ketebalan minimal pada dinding *gritcone* maupun ketebalan maksimal



dan minimal plat *patching* 3Cr12. Hasil ketebalan maksimal dan minimal dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut ini:

**Tabel 4.2** Hasil simulasi kegagalan pada *Gritcone*

Spesimen	Ketebalan Akhir Gritcone		$\Delta T$ (m)
	Minimal (m)	Maksimal (m)	
1	0.00996803	0.00999902	$3.099 \times 10^{-5}$
2	0.00999631	0.00999906	$2.75 \times 10^{-6}$
3	0.00999552	0.00999912	$3.6 \times 10^{-6}$
4	0.0999548	0.0999996	$4.48 \times 10^{-5}$
5	0.0999533	0.0999996	$4.63 \times 10^{-5}$
6	0.099953	0.09999953	$4.653 \times 10^{-5}$

**Tabel 4.2** menunjukkan hasil simulasi kegagalan abrasi dari tiap – tiap spesimen yang menunjukkan adanya kecenderungan naiknya tingkat abrasi seiring dengan semakin terpusatnya persebaran partikel batu bara.

#### 4.1 Gritcone tanpa *patching* 3Cr12

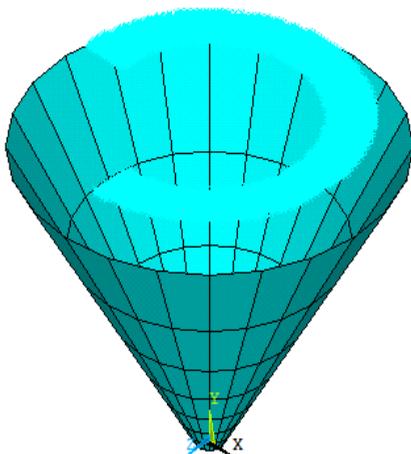
Pada subbab ini akan dibahas mengenai hasil simulasi gritcone tanpa *patching* 3Cr12. Kegagalan abrasi diawali dengan adanya tumbukan partikel batu bara pada dinding gritcone. Persebaran partikel batu bara yang tidak merata mengakibatkan adanya pemusatan beban yang mengakibatkan patahan yang terlokalisir. Agar didapatkan hasil yang akurat, peneliti menggunakan tiga variasi persebaran partikel batu bara, yaitu sebesar 75%, 90%, dan 100%.

##### 4.1.1 Pengaruh persebaran partikel 75%

Geometri gritcone dan persebaran partikel 75% dapat dilihat pada gambar 4.1. Geometri ini disimulasikan dengan pemberian beban partikel batu bara dengan persebaran partikel sebesar 75%. Partikel batu bara berukuran 100  $\mu\text{m}$  mempunyai massa  $4.36 \times 10^{-10}$  kg dan



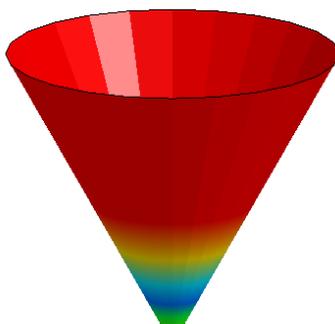
partikel tersebut bergerak dari kecepatan awal  $10 \text{ m/s}$  dengan percepatan sebesar  $9.81 \text{ m/s}^2$ .



**Gambar 4.1** Geometri gritcone dengan persebaran partikel 75%

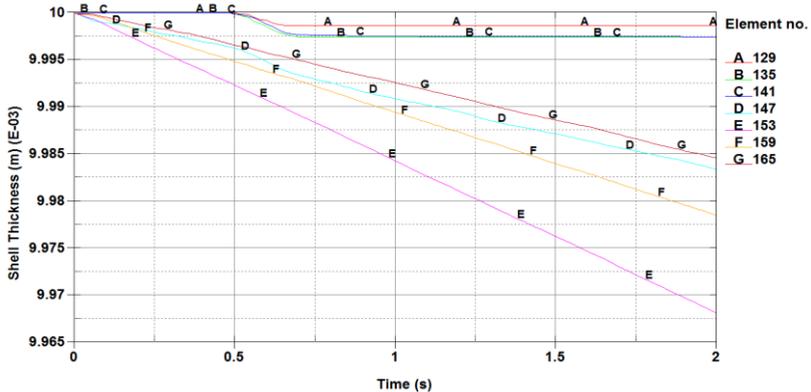
LS-DYNA user input  
Time = 2  
Contours of Shell Thickness  
min=0.00996803, at elem# 69  
max=0.00999902, at elem# 5

Shell Thickness





**Gambar 4.2** Distribusi pengurangan ketebalan dinding gritcone dengan variasi persebaran partikel 75%



**Gambar 4.3** Grafik hubungan antara waktu dengan ketebalan dinding gritcone pada spesimen 1

Gambar 4.2 menunjukkan hasil simulasi berupa distribusi pengurangan ketebalan dinding gritcone dengan variasi persebaran partikel 75%. Dapat dilihat pada gambar ketebalan minimal sebesar 0.00996803m. Area yang mempunyai ketebalan paling rendah berpotensi mengalami crack jika diberi beban yang berulang.

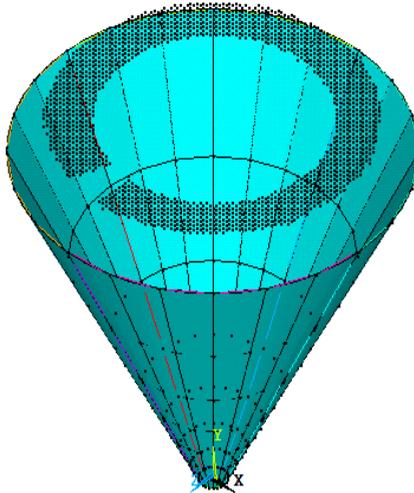
Grafik 4.3 menunjukkan hubungan antara waktu dengan ketebalan gritcone. Jika dilihat pada grafik, pengurangan ketebalan dinding gritcone terjadi pada saat  $t = \pm 0.0125$  s. Dinding gritcone yang memiliki nilai pengurangan ketebalan paling tinggi adalah elemen E 153.



---

#### **4.1.2 Pengaruh persebaran partikel 90%**

Geometri gritcone dan persebaran partikel 90% dapat dilihat pada gambar 4.4. Geometri ini disimulasikan dengan pemberian beban partikel batu bara dengan persebaran partikel sebesar 90%. Partikel batu bara berukuran  $100\ \mu\text{m}$  mempunyai massa  $4.36 \times 10^{-10}\ \text{kg}$  dan partikel tersebut bergerak dari kecepatan awal  $0\ \text{m/s}$  dengan percepatan sebesar  $9.81\ \text{m/s}^2$ .

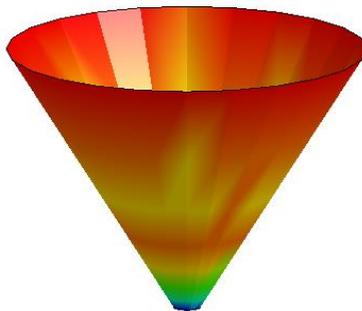


**Gambar 4.4** Geometri gritcone dengan persebaran partikel 90%

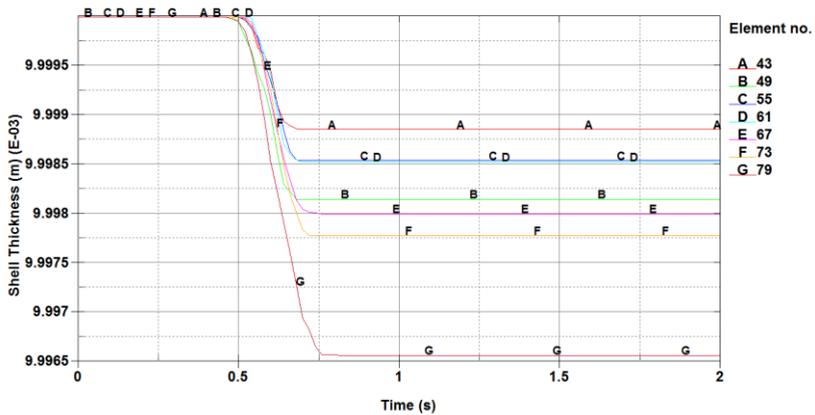
LS-DYNA user input  
Time = 2  
Contours of Shell Thickness  
min=0.00999631, at elem# 123  
max=0.00999906, at elem# 5

Shell Thickness

9.999e-03	Red
9.999e-03	Orange
9.999e-03	Yellow
9.998e-03	Light Green
9.998e-03	Green
9.997e-03	Light Blue
9.997e-03	Blue
9.997e-03	Dark Blue
9.996e-03	Very Dark Blue



**Gambar 4.5** Distribusi pengurangan ketebalan dinding gritcone dengan variasi persebaran partikel 90%



**Gambar 4.6** Grafik hubungan antara waktu dengan ketebalan dinding gritcone pada spesimen 2

Gambar 4.5 menunjukkan hasil simulasi berupa distribusi pengurangan ketebalan dinding gritcone dengan variasi persebaran partikel 90%. Dapat dilihat pada gambar ketebalan minimal sebesar 0.00999631 m. Area yang mempunyai ketebalan paling rendah berpotensi mengalami crack jika diberi beban yang berulang.

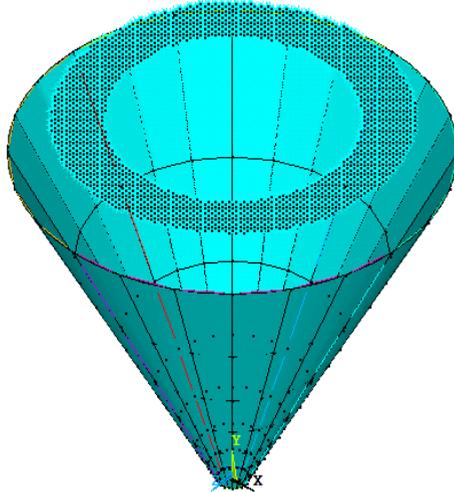
Grafik 4.6 menunjukkan hubungan antara waktu dengan ketebalan gritcone. Jika dilihat pada grafik, pengurangan ketebalan dinding gritcone terjadi pada saat  $t = \pm 0.5$  s. Dinding gritcone yang memiliki nilai pengurangan ketebalan paling tinggi adalah elemen G 79.

#### 4.1.3 Pengaruh persebaran partikel 100%

Geometri gritcone dan persebaran partikel 100% dapat dilihat pada gambar 4.7. Geometri ini disimulasikan dengan pemberian beban partikel batu bara dengan persebaran partikel sebesar 90%. Partikel batu bara berukuran 100  $\mu\text{m}$  mempunyai massa  $4.36 \times 10^{-10}$  kg dan



partikel tersebut bergerak dari kecepatan awal  $10 \text{ m/s}$  dengan percepatan sebesar  $9.81 \text{ m/s}^2$ .

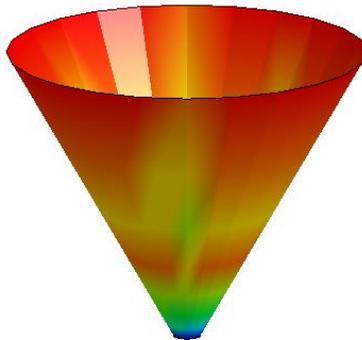


**Gambar 4.7** Geometri gritcone dengan persebaran partikel 100%

LS-DYNA user input  
Time = 2  
Contours of Shell Thickness  
min=0.00999552, at elem# 82  
max=0.00999912, at elem# 86

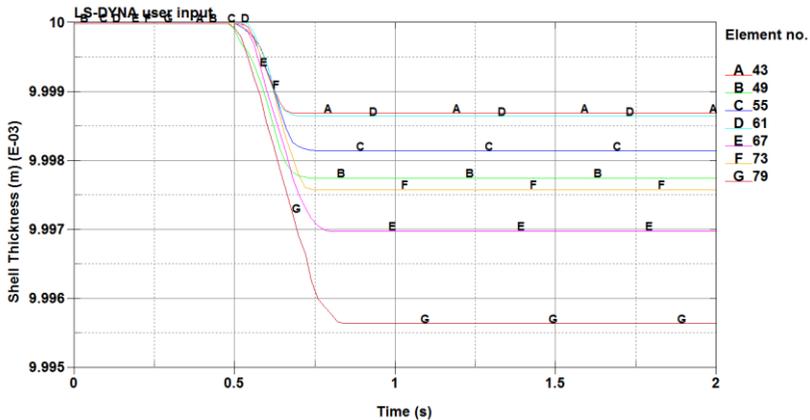
Shell Thickness

9.999e-03	Red
9.999e-03	Orange
9.998e-03	Yellow
9.998e-03	Light Green
9.997e-03	Green
9.997e-03	Cyan
9.996e-03	Blue
9.996e-03	Dark Blue





**Gambar 4.8** Distribusi pengurangan ketebalan dinding gritcone dengan variasi persebaran partikel 100%



**Gambar 4.9** Grafik hubungan antara waktu dengan ketebalan dinding gritcone pada spesimen 3

Gambar 4.8 menunjukkan hasil simulasi berupa distribusi pengurangan ketebalan dinding gritcone dengan variasi persebaran partikel 90%. Dapat dilihat pada gambar ketebalan minimal sebesar 0.00999631 m. Area yang mempunyai ketebalan paling rendah berpotensi mengalami crack jika diberi beban yang berulang.

Grafik 4.9 menunjukkan hubungan antara waktu dengan ketebalan gritcone. Jika dilihat pada grafik, pengurangan ketebalan dinding gritcone terjadi pada saat  $t = \pm 0.5$  s. Dinding gritcone yang memiliki nilai pengurangan ketebalan paling tinggi adalah elemen G 79.

## 4.2 Gritcone dengan *patching* 3Cr12

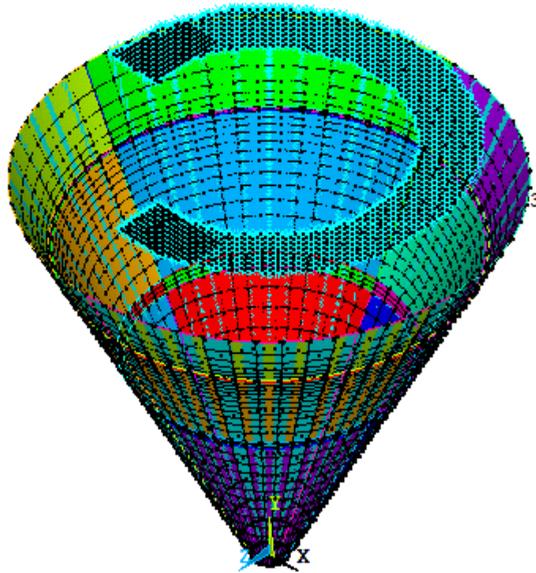


---

Pada subbab ini akan dibahas mengenai hasil simulasi gritcone dengan *patching* 3Cr12. Perbaikan sebelumnya yang dilakukan di lapangan yaitu dilakukan proses *patching* menggunakan plat 3Cr12 pada bagian yang mengalami kegagalan. Kegagalan abrasi diawali dengan adanya tumbukan partikel batu bara pada dinding gritcone. Persebaran partikel batu bara yang tidak merata mengakibatkan adanya pemusatan beban yang mengakibatkan patahan yang terlokalisir. Agar didapatkan hasil yang akurat, peneliti menggunakan tiga variasi persebaran partikel batu bara, yaitu sebesar 75%, 90%, dan 100%.

#### **4.2.1 Pengaruh persebaran partikel 75%**

Geometri gritcone dengan *patching* dan persebaran partikel 75% dapat dilihat pada gambar 4.10. Geometri ini disimulasikan dengan pemberian beban partikel batu bara dengan persebaran partikel sebesar 90%. Partikel batu bara berukuran 100  $\mu\text{m}$  mempunyai massa  $4.36 \times 10^{-10}$  kg dan partikel tersebut bergerak dari kecepatan awal 0 m/s dengan percepatan sebesar  $9.81 \text{ m/s}^2$ .



**Gambar 4.10** Geometri gritcone dengan persebaran partikel 75%

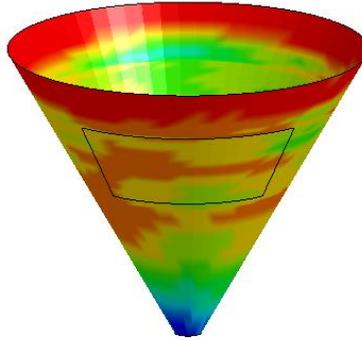
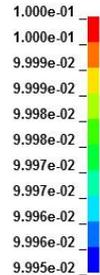


LS-DYNA user input

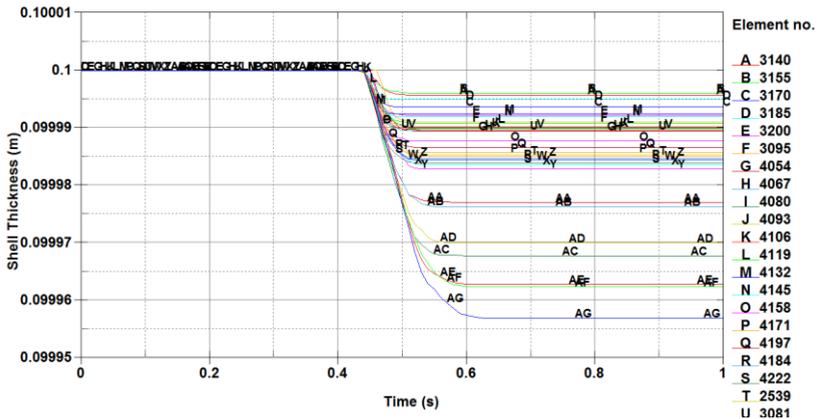
Time = 1

Contours of Shell Thickness  
min=0.0999548, at elem# 2350  
max=0.0999996, at elem# 2844

Shell Thickness



**Gambar 4.11** Distribusi pengurangan ketebalan dinding gritcone dengan *patching* pada variasi persebaran partikel 75%



**Gambar 4.12** Grafik hubungan antara waktu dengan ketebalan dinding gritcone pada spesimen 4



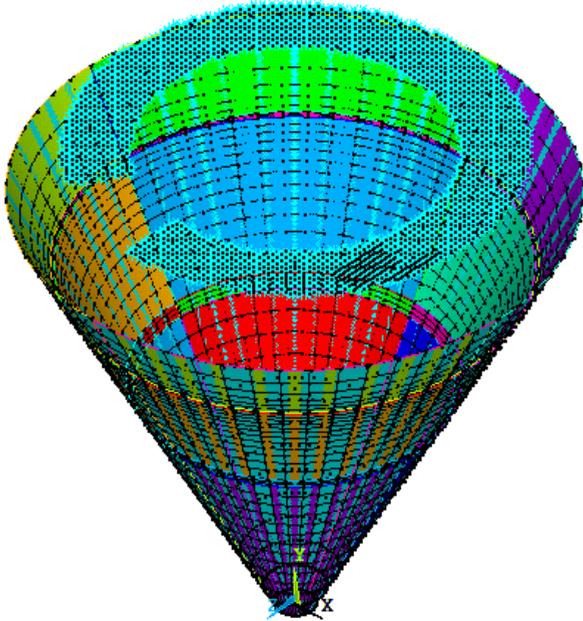
---

Gambar 4.11 menunjukkan hasil simulasi berupa distribusi pengurangan ketebalan dinding gritcone dengan variasi persebaran partikel 75%. Dapat dilihat pada gambar ketebalan minimal sebesar 0.0999548 m. Area yang mempunyai ketebalan paling rendah berpotensi mengalami crack jika diberi beban yang berulang.

Grafik 4.12 menunjukkan hubungan antara waktu dengan ketebalan gritcone. Jika dilihat pada grafik, pengurangan ketebalan dinding gritcone terjadi pada saat  $t = \pm 0.5$  s. Dinding gritcone yang memiliki nilai pengurangan ketebalan paling tinggi adalah elemen AG.

#### **4.2.2 Pengaruh persebaran partikel 85%**

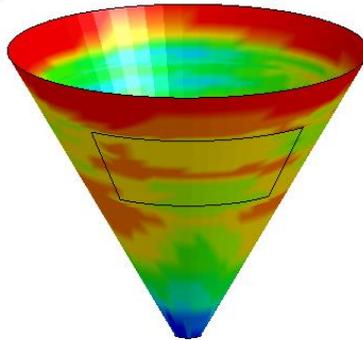
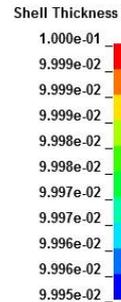
Geometri gritcone dengan *patching* dan persebaran partikel 85% dapat dilihat pada gambar 4.13. Geometri ini disimulasikan dengan pemberian beban partikel batu bara dengan persebaran partikel sebesar 85%. Partikel batu bara berukuran  $100 \mu\text{m}$  mempunyai massa  $4.36 \times 10^{-10}$  kg dan partikel tersebut bergerak dari kecepatan awal  $0 \text{ m/s}$  dengan percepatan sebesar  $9.81 \text{ m/s}^2$ .



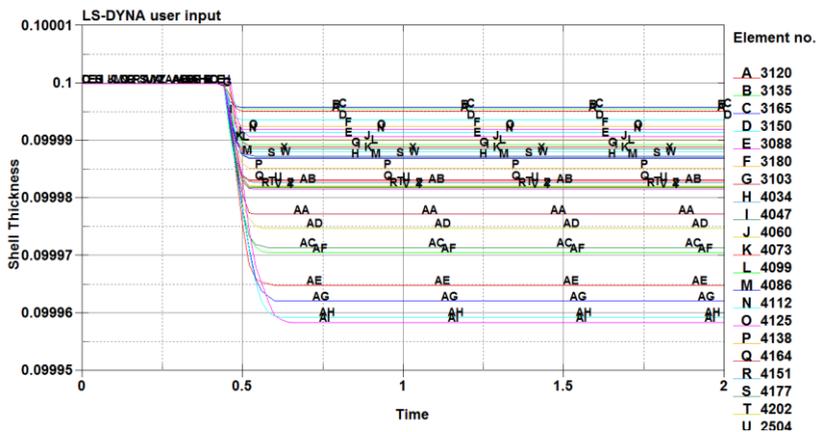
**Gambar 4.13** Geometri gritcone dengan persebaran partikel 85%



LS-DYNA user input  
Time = 2  
Contours of Shell Thickness  
min=0.0999533, at elem# 2331  
max=0.0999996, at elem# 3940



**Gambar 4.14** Distribusi pengurangan ketebalan dinding gritcone dengan *patching* pada variasi persebaran partikel 85%



**Gambar 4.15** Grafik hubungan antara waktu dengan ketebalan dinding gritcone pada spesimen 4



---

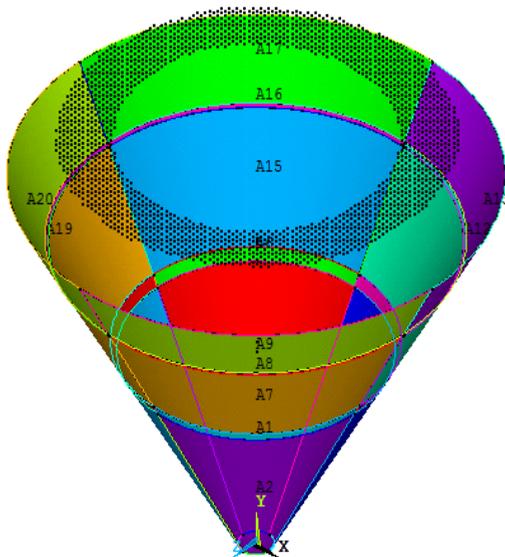
Gambar 4.13 menunjukkan hasil simulasi berupa distribusi pengurangan ketebalan dinding gritcone dengan variasi persebaran partikel 85%. Dapat dilihat pada gambar ketebalan minimal sebesar 0.0999533 m. Area yang mempunyai ketebalan paling rendah berpotensi mengalami crack jika diberi beban yang berulang.

Grafik 4.15 menunjukkan hubungan antara waktu dengan ketebalan gritcone. Jika dilihat pada grafik, pengurangan ketebalan dinding gritcone terjadi pada saat  $t = \pm 0.5$  s. Dinding gritcone yang memiliki nilai pengurangan ketebalan paling tinggi adalah elemen AI.



### 4.2.3 Pengaruh persebaran partikel 100%

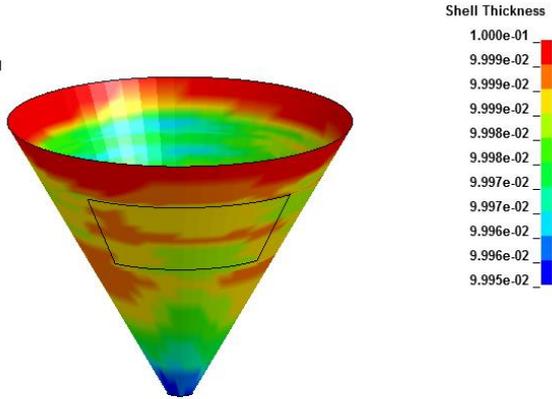
Geometri gritcone dengan *patching* dan persebaran partikel 100% dapat dilihat pada gambar 4.16. Geometri ini disimulasikan dengan pemberian beban partikel batu bara dengan persebaran partikel sebesar 100%. Partikel batu bara berukuran  $100\ \mu\text{m}$  mempunyai massa  $4.36 \times 10^{-10}\ \text{kg}$  dan partikel tersebut bergerak dari kecepatan awal  $0\ \text{m/s}$  dengan percepatan sebesar  $9.81\ \text{m/s}^2$ .



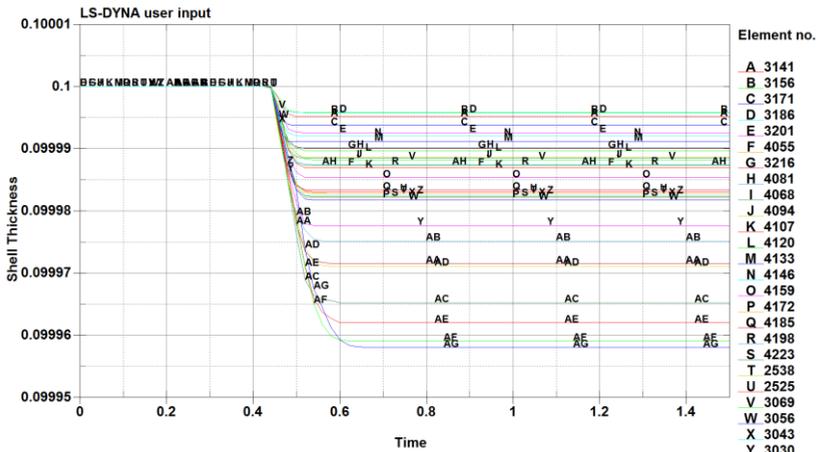
**Gambar 4.16** Geometri gritcone dengan persebaran partikel 100%



LS-DYNA user input  
Time = 1.5  
Contours of Shell Thickness  
min=0.099953, at elem# 2352  
max=0.0999995, at elem# 3961



**Gambar 4.17** Distribusi pengurangan ketebalan dinding gritcone dengan *patching* pada variasi persebaran partikel 100%



**Gambar 4.18** Grafik hubungan antara waktu dengan ketebalan dinding gritcone pada spesimen 6



Gambar 4.16 menunjukkan hasil simulasi berupa distribusi pengurangan ketebalan dinding gritcone dengan variasi persebaran partikel 100%. Dapat dilihat pada gambar ketebalan minimal sebesar 0.099953 m. Area yang mempunyai ketebalan paling rendah berpotensi mengalami crack jika diberi beban yang berulang.

Grafik 4.17 menunjukkan hubungan antara waktu dengan ketebalan gritcone. Jika dilihat pada grafik, pengurangan ketebalan dinding gritcone terjadi pada saat  $t = \pm 0.4$  s. Dinding gritcone yang memiliki nilai pengurangan ketebalan paling tinggi adalah elemen AG.

Setelah dilakukan simulasi, didapatkan hasil berupa ketebalan akhir dinding gritcone karena adanya proses penumbukan partikel batu bara. Gritcone tanpa patching 3Cr12 dengan menggunakan persebaran partikel sebesar 75% mengalami tingkat keausan paling tinggi karena adanya pemusatan tumbukan partikel. Jumlah partikel batu bara yang digunakan dalam proses simulasi ini adalah sama yaitu  $\pm 2100$  partikel. Pemusatan tumbukan partikel dengan jumlah partikel yang tetap menyebabkan adanya tegangan yang terpusat dan terlokalisir pada daerah tertentu. Akibat adanya tegangan ini maka sesuai dengan teori kegagalan von mises jika suatu pembebanan melampaui nilai kritis tegangan suatu material maka terjadi patahan. Dalam proses simulasi ini patahan diawali dengan adanya pengurangan ketebalan dinding gritcone.

Kondisi di lapangan ketika terjadi patahan adalah dengan dilakukan proses penambalan (patching) pada daerah yang mengalami patahan. Material yang digunakan untuk patching berupa plat 3Cr12. Hasil simulasi yang didapat adalah pengurangan ketebalan dinding gritcone yang paling besar pada persebaran sebesar 75%. Jika dibandingkan dengan hasil simulasi gritcone tanpa patching, gritcone menggunakan patching mengalami pengurangan ketebalan dinding paling besar. Hal ini konsisten jika dilihat dari angka kekerasan antara



---

3Cr12 dan XAR400. Sehingga 3Cr12 bukan merupakan material yang baik untuk patching pada dinding gritcone.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Semakin kecil variasi persebaran partikel menyebabkan adanya pemusatan tumbukan pada daerah tertentu pada gritcone. Hal ini menyebabkan semakin tingginya tingkat abrasi sehingga berpotensi menyebabkan crack.
2. Mekanisme keausan yang terjadi pada dinding gritcone diawali dengan adanya pembebanan berupa tumbukan partikel batubara. Tumbukan partikel batubara ini menyebabkan pengurangan ketebalan dinding gritcone. Jika hal ini diteruskan maka akan terjadi crack pada dinding gritcone.
3. Patching 3Cr12 tidak memberikan hasil yang optimal untuk menanggulangi kegagalan pada gritcone.

#### **5.2 Saran**

1. Dilakukan pergantian seluruh komponen gritcone pada saat proses perbaikan.
2. Ukuran partikel batu bara yang masuk melalui feed harus lebih besar.
3. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan simulasi *Discrete Element Method (DEM)*.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



---

## DAFTAR PUSTAKA

- Abe, Steffen. 2016. **Comparison of Discrete Element Simulations to Theoretical Predictions of The Elastic Moduli of Damaged Rocks**. Institute for Geothermal Resource Management. Germany
- Allen. T. 1990. **Particle Size Measurement: Fourth Edition**. Chapman and Hall. USA
- Arabnejad. 2014. **A Guideline to Calculate Erosional Velocity due to Liquid Droplets for Oil and Gas Industry, in : proceeding of the SPE Annual Technical Conference and Exhibition**. Belanda
- Arabnejad. 2015. **Development of Mechanistic Erosion Equation for Solid Particle**. Amerika Serikat : University of Tulsa
- Brook, C. R. & Choudhury, A., 2002. **Failure Analysis of Engineering Materials**. McGraw Hills. USA
- Deutschman, Aaron. 1975. **Machine Design: Theory and Practice**. Macmillan Publishing. Canada
- Dieter, George. 1993. **Metalurgi Mekanik**. McGraw-Hill Inc. USA
- Hallquist, John. 2006. **LS-DYNA Theory Manual**. Amerika Serikat : Livermore Software Technology Corporation
- Khurmi, R.S. dan J.K. Gupta. 2005. **Textbook of Machine Design**. Eurasia Publishing House. India
- Livermore Software Technology Corporation. **Differences between Implicit and Explicit**. 2011 <  
<http://www.dynasupport.com/faq/general/what-are-the-differences-between-implicit-and-explicit>>
- Palaniandy, dkk. 2003. **Optimization, Modelling, and Simulation of Vertical Roller Mill in Cement Raw Mix Grinding Circuit**. Universiti Sains Malaysia. Malaysia



---

Wang. S, Zhoushun Zheng. 2015. **Discrete Element Method for High-temperature Spread in Compacted Powder System**. Chinese Academy of Science. China



---

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Muhammad Yogie Latansa dilahirkan di Surabaya pada tanggal 14 Juli 1994. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari Bapak Alex Prihermawan dan Ibu Tri Puji Rahayu, dan telah menempuh pendidikan formal yaitu SD Negeri 01 Banjararum Kab. Malang, SMPN 1 Malang, SMAN 6 Malang, dan penulis mengikuti tes SNMPTN dan diterima sebagai Mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2012. Penulis melanjutkan studi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS dengan nomor registrasi pokok 2712 100 070.

Semasa kuliah, penulis terdaftar aktif mengikuti organisasi kemahasiswaan di lingkup Himpunan (HMMT FTI-ITS) sebagai staff departemen PSDM 2013-2014 dan sebagai sekretaris departemen PSDM 2014-2015.

Selesainya tugas akhir ini mengantarkan penulis memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi sepuluh Nopember Surabaya.

Email : [yogie.latansa@gmail.com](mailto:yogie.latansa@gmail.com)

Hp : 08577588894



---

(Halaman ini sengaja dikosongkan)