

# FENOMENA RELAKSASI FISIK PADA BOLA GRAFIT HASIL CETAKAN ALAT MOLDING BAHAN BAKAR PARTIKEL TERLAPIS BENTUK BOLA

Dedy Husnurrofiq, Harry Supriadi, Sudaryadi

Pusat Sains dan Teknologi Akselerator – BATAN

Jln. Babarsari Kotak Pos 6101 ykbb Yogyakarta

dedyhusnurrofiq@batan.go.id

## ABSTRAK

**FENOMENA RELAKSASI FISIK PADA BOLA GRAFIT HASIL CETAKAN ALAT MOLDING BAHAN BAKAR PARTIKEL TERLAPIS BENTUK BOLA.** Penelitian ini dilakukan simulasi laju tekan yang terjadi pada bola bahan bakar. Dari hasil simulasi terlihat bahwa jika tekanan diberikan 300 MPa maka tekanan dipusat bola menjadi 318 MPa. Penelitian ini juga mengasumsikan proses pencetakan bahan bakar partikel terlapis bentuk bola dengan pencetakan bola grafit. Dilakukan pengamatan fenomena regangan relaksasi fisik pada bola grafit terhadap waktu. Regangan relaksasi merupakan suatu peristiwa berkurangnya tegangan pada suatu materi tertentu terhadap waktu jika ditahan dalam kondisi regangan yang tetap. Bola grafit dicetak menggunakan cetakan silicon rubber dengan tekanan 150 kN pada luas penekanan 785 mm<sup>2</sup> selama 10 menit. Silicon rubber berfungsi sebagai media pembungkus yang elastis agar partikel terlapis yang dipressing tidak mengalami cracking. Bola yang dihasilkan berbentuk bulat dengan diameter 56.02 mm. Dari hasil pengamatan selama 5 bulan terlihat bola tidak mengalami retakan dan diameter bola tetap.

**Kata kunci :** relaksasi, regangan, grafit

## ABSTRACT

**PHYSICAL RELAXATION PHENOMENA IN GRAPHITE BALL PRODUCTS OF MOLDING EQUIPMENT ON THE SPHERICAL FUEL ELEMENT.** This research was conducted pressure rate simulation on the spherical fuel element. If the pressure of 300 MPa then pressure in the center of ball become 318 MPa. This study assumes the process of making fuel particles coated with graphite balls. This study focuses on the phenomenon of strain relaxation in graphite ball with respect to time. Strain relaxation is an event in a material reduction tension with time if kept in a fixed strain conditions. Graphite balls are formed using silicon rubber mold with a pressure of 150 kN in 785 mm<sup>2</sup> areas for 10 minutes. Silicon rubber elastic wrap functions as a medium that coated particles are pressed not cracking. The resulting ball is round with a diameter of 56.02 mm. From the observation for 5 months did not any visible cracks and keep the ball diameter.

**Keywords :** relaxation, strain, graphite

## PENDAHULUAN

Penelitian mengenai *molding* atau pencetakan bahan bakar partikel terlapis bentuk bola sudah sampai pada tahap uji alat cetak. Uji alat cetak adalah uji karakteristik cetakan dan hasil pencetakan baik berupa kebulatan bola maupun regangan relaksasi fisik yang terjadi. Selain itu, uji ini penting dilakukan untuk melihat ketahanan alat cetak pada saat dan setelah dilakukan pengepressan. Alat cetak terbuat dari bahan *silicon rubber*, dimana *silicon rubber* memiliki sifat elastisitas yang besar sehingga pada saat ditekan sifatnya mirip dengan fluida cair. Di bawah ini Tabel-1 karakteristik *silicon rubber*.

Penggunaan *silicon rubber* pada saat *pressing* bola bahan bakar partikel terlapis bertujuan agar terjadi penyebaran partikel terlapis (*migration particle*) yang merata dalam bola bahan bakar dan mencegah terjadi *cracking*. Jarak antara partikel terlapis dalam bola bahan bakar diharapkan sekitar 200 mikrometer.

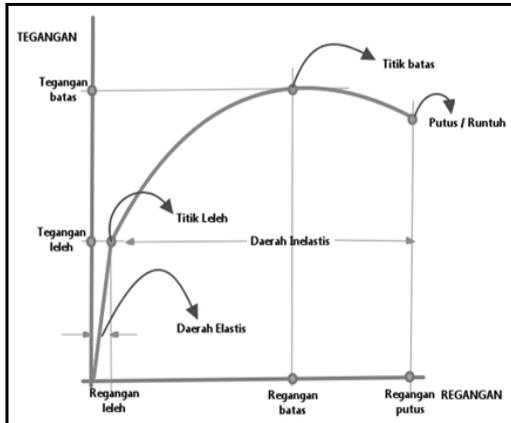
Tabel 1. Karakteristik silicon rubber

No	Mechanical properties	Keterangan
1	Hardness, shore A	10–90
2	Tensile strength	11 N/mm <sup>2</sup>
3	Elongation at break	100–1100%
4	Maximum temperature	+300°C
5	Minimum temperature	-120°C

Penyebaran partikel terlapis yang terjadi dalam bola bahan bakar pada saat *dipressing* menyebabkan perubahan densitas dari bola bahan bakar. Perubahan densitas ini diakibatkan karena volume bola setelah ditekan akan berkurang. Proses *pressing* ini dilakukan pada kondisi vakum dengan tekanan minus 100 mBar<sup>[1]</sup>. Diharapkan dengan kondisi vakum tekanan udara dalam bola lebih besar dari lingkungan sekitar bola sehingga udara yang terjebak dalam bola terdorong ke luar lingkungan. Penghilangan udara terutama oksigen terjebak dalam

bola bahan bakar sangat penting dilakukan untuk mencegah terjadinya oksidasi karbon sehingga akan mengikis karbon grafit<sup>[2,3]</sup>.

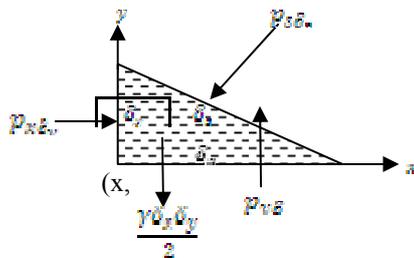
Uji alat cetak yang akan dilakukan antara lain uji tegangan regangan dan uji kebulatan bola yang dihasilkan. Kurve tegangan regangan bahan *silicon rubber* dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Kurva tegangan regangan bahan silicon rubber

Pada kurve diatas terlihat bahwa elastisitas bahan silicon rubber memiliki nilai yang cukup tinggi. Sifatnya yang elastik ini menyerupai sifat fluida jika mengalami penekanan sehingga akan mengurangi beban gesekan yang terjadi pada partikel terlapis. Pemilihan bahan *silicon rubber* pada saat pencetakan ditentukan karena sifat *silicon rubber* seperti fluida.

Berdasarkan teori *fluida newtonian*, jika fluida cair diberikan tekanan pada satu posisi maka akan memberikan efek tekanan ke segala arah jika tidak terjadi perubahan viskositas. Hal ini menyerupai sifat dari *silicon rubber* jika mengalami tekanan pada satu posisi maka akan memberikan efek tekanan searah dari tekanan awal. Jika efek tekanan tersebut terhalang dan terkukung oleh suatu materi yang kuat maka arah tekanan akan terpusat sesuai dengan hukum pascal. Teori hukum Pascal menyatakan bahwa semua tekanan akan diteruskan ke semua arah, samarata dan tegak lurus pada bidang tekan. Maka diilustrasikan jika sebuah segitiga siku-siku tidak bergerak dalam fluida maka persamaan gerak dalam x dan y masing – masing adalah<sup>[5]</sup>:



Gambar 2. Diagram benda bebas partikel

$$\delta_y - p_s \delta_s \sin \theta = \frac{\delta_x \delta_y}{2} \rho \alpha_x = 0 \quad \dots\dots (1)$$

$$\delta_x - p_s \delta_s \cos \theta - \gamma \frac{\delta_x \delta_y}{2} = \frac{\delta_x \delta_y}{2} \rho \alpha_y = 0 \quad \dots\dots (2)$$

dimana,

- $P_x, P_y, P_s$  = Tekanan rata (MPa)
- $\gamma$  = Berat jenis fluida (Kg/cm<sup>3</sup>)
- $\rho$  = Rapat jenis bahan (Kg/cm<sup>3</sup>)
- $\alpha_x, \alpha_y$  = Percepatan (m/s<sup>2</sup>)

dari gambar dapat dipahami

$$\delta_s \sin \theta = \delta_y, \dots \delta_s \cos \theta = \delta_x \quad \dots\dots (3)$$

dan persamaan 1 dan 2 dapat disederhanakan menjadi,

$$p_x \delta_y - p_y \delta_x = 0 \dots p_y \delta_x - p_x \delta_y - \gamma \frac{\delta_x \delta_y}{2} = 0 \quad \dots\dots (4)$$

bila persamaan 4 dibagi  $\delta_y, \delta_x$ , maka didapat

$$P_x = P_y = P_s \quad \dots\dots (5)$$

Karena  $\theta$  merupakan sembarang sudut maka persamaan (5) membuktikan bahwa tekanan adalah sama rata dalam semua arah disuatu titik dalam fluida statik. Pada proses pencetakan bahan bakar diharapkan tekanan yang diberikan menghasilkan geometri isometrik pada pusat bola bahan bakar.

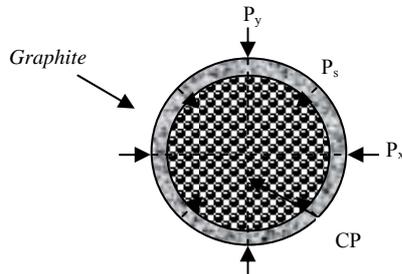
Tegangan pada bola bahan bakar akan berkurang dengan waktu bila bola bahan bakar dalam kondisi regangan yang tetap. Kejadian ini disebut relaksasi. Beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya relaksasi antara lain, temperatur, tegangan awal, dan karakteristik bahan. Regangan relaksasi menyebabkan terjadi perubahan struktur materi sehingga mengakibatkan efek kumulatif berupa retakan struktur<sup>[6]</sup>.

Pada penelitian ini dilakukan simulasi pengepresan bola bahan bakar untuk memprediksi perubahan laju tekanan pada bola bahan bakar dan membuktikan laju tekanan yang terpusat. Untuk melihat fenomena relaksasi fisik pada bola bahan bakar dilakukan pencetakan bola grafit dari bahan bakar partikel terlapis. Penelitian ini penting dilakukan untuk mengetahui fenomena relaksasi fisik pada bola sehingga bisa mengasumsikan langkah-langkah penyempurnaan pada proses pencetakan bahan bakar partikel terlapis bentuk bola yang sesungguhnya.

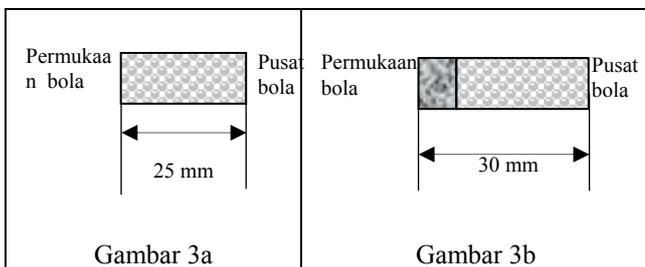
## METODOLOGI

Pada penelitian ini dilakukan simulasi proses pencetakan bola bahan bakar menggunakan *software*

*fluent* 6.2. Proses simulasi ini menggunakan persamaan element hingga yang berkaitan dengan teori hukum pascal dan sudah terintegrasi di dalam *software* tersebut. Gambar dibawah merupakan asumsi untuk penyederhanaan kasus pada proses simulasi<sup>[4]</sup>.



Gambar 3. tampang lintang bahan bakar bentuk bola



Gambar 4. Penentuan nodal untuk penentuan objek yang akan disimulasikan dalam bentuk 2 dimensi. (3a) nodal pre-pressing. Gambar (3b) nodal final pressing

Pada simulasi ini dilakukan dua kali pengepressan yaitu pengepressan *pre-pressing* dengan kuat tekan 50 MPa dan pengepressan *final-pressing* dengan kuat tekan 300 MPa. Material *coated particle* (CP) diasumsikan sebagai *granular* dengan diameter 0,1 mm sedangkan grafit diasumsikan sebagai *fluida*.

Pencetakan bola grafit dari *calcine coke* dan *tarpitch*. *Calcine coke* dan *tarpitch* dicampur kemudian dimasukkan ke dalam cetakan *silicon rubber* kemudian dilakukan pressing. Berikut ini gambar cetakan *silicon rubber* untuk mencetak bola grafit.



Gambar 5. Cetakan *silicon rubber*

## Peralatan dan bahan

Simulasi proses pengepressan bola dilakukan menggunakan *software fluent* 6.2 dan *Software Gambit* 2.2.30. Sedangkan untuk proses pencetakan bola grafit menggunakan alat *pressing single acting* tekanan maksimum 300 kN, cetakan *silicon rubber*, selubung besi pengungku alat cetak dan pil alat cetak. Bahan yang digunakan *calcine coke* dan *tarpitch*

## Langkah Kerja

Simulasi proses pengepressan pada bola bahan bakar partikel terlapis diawali dengan membuat geometri nodal untuk penentuan objek yang akan disimulasi dalam bentuk 2D. Objek tersebut dilakukan *meshing* supaya perhitungan simulasi pada setiap elemen bisa terdefinisi (*convergen*)<sup>[4]</sup>. Pembuatan geometri dilakukan menggunakan *Software Gambit* 2.2.30. Sedangkan *software fluent* 6.2 berfungsi sebagai tempat untuk mengolah data masukan yang akan disimulasikan sehingga hasil simulasi dapat diketahui.

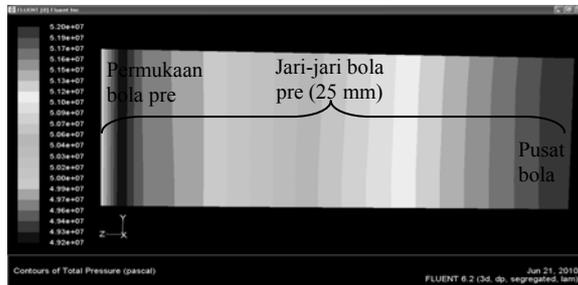
Pada pencetakan bola grafit diawali dengan menimbang bahan *calcine coke* dan *tarpitch* dengan perbandingan 70 % *calcine coke* dan 30 % *tar pitch*. Kemudian kedua bahan dicampur sampai *homogen*. Bahan grafit dimasukkan dalam alat cetak *silicon rubber* sambil diaduk supaya grafit merata dalam cetakan. Pengisian grafit ke dalam alat cetak dilakukan secara bertahap dengan cara sebagai berikut, grafit dimasukkan ke dalam cetakan bagian pertama sambil diaduk. Setelah itu bagian cetakan kedua dipasang kemudian grafit dimasukkan lagi ke dalam cetakan. Setelah terisi penuh cetakan ditutup dengan cetakan bagian ketiga sehingga menjadi satu kesatuan cetakan. Cetakan yang sudah terisi kemudian dimasukkan ke dalam selubung *dies* dimana pada bagian atas dan bawah cetakan disangga dengan *pil dies*. Setelah alat cetakan dimasukkan ke dalam *dies*, kemudian dilakukan *pressing* menggunakan alat *pressing single acting*. Cetakan di *pressing* dengan kekuatan 150 kN sesuai dengan kemampuan alat *pressing* selama 10 menit. Setelah dilakukan *pressing* cetakan diambil dan bola grafit sudah terbentuk. Pengamatan relaksasi fisik dilakukan dengan pengukuran diameter bola menggunakan *sketmatch* dan pengamatan langsung struktur permukaan bola dari bulan Oktober 2013 sampai bulan Februari 2014.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

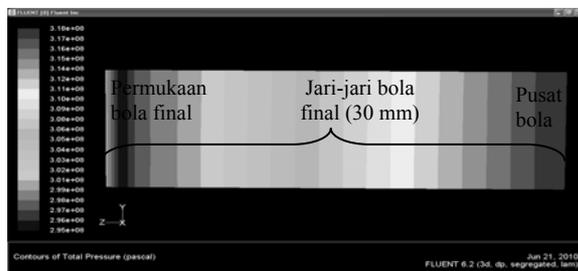
Proses molding untuk pembuatan bahan bakar partikel terlapis bentuk bola adalah proses pencetakan bahan bakar terlapis dengan cara mencampur dan mengkompaksi partikel  $UO_2$  terlapis dengan serbuk grafit berderajat nuklir. Pada proses pencetakan ini ditambahkan juga resin sebagai

perekat antara serbuk grafit dengan partikel  $UO_2$  terlapis.

Untuk menentukan profil laju tekan pada bola bahan bakar dilakukan simulasi menggunakan metode elemen hingga. Dibawah ini terlihat hasil simulasi proses pengepressan *pre-pressing* dan *final-pressing*.



Gambar 6. Profil tekanan pada proses pengepressan *pre-pressing* 50 MPa.

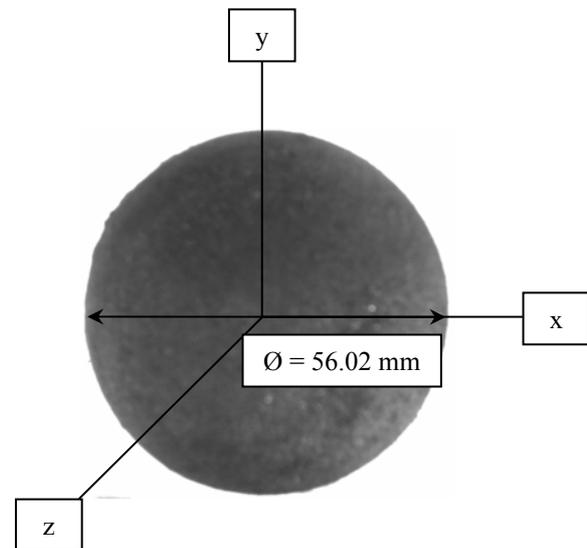


Gambar 7. Profil tekanan pada proses pengepressan *final-pressing* 300 MPa.

Jika dilihat dari hasil simulasi diatas terlihat bahwa laju tekanan semakin meningkat pada pusat bola bahan bakar. Tekanan yang diberikan pada satu posisi akan terakumulasi pada suatu titik jika tekanan diarahkan sesuai dengan geometri alat cetak. Akan tetapi tekanan yang terpusat ini akan memberikan tekanan yang berlebih pada CP yang berada disekitar pusat bola. Dari hasil simulasi terlihat jika tekanan yang diberikan pada proses *pre-pressing* 50 MPa maka tekanan pada pusat bola sebesar 52 MPa sedangkan tekanan pada *final-pressing* 300 MPa akan menyebabkan kenaikan laju tekan pada pusat bola menjadi 318 MPa. Perbedaan laju tekan ini menyebabkan perbedaan kepadatan disekitar pusat bola dengan permukaan bola. Untuk itu fenomena relaksasi fisik sering muncul dipermukaan bola hasil pengepressan.

Penelitian ini juga mengasumsikan proses pencetakan bahan bakar partikel terlapis bentuk bola dengan pencetakan bola grafit. Penelitian ini menitikberatkan pada pengamatan fenomena regangan relaksasi fisik pada bola grafit terhadap waktu. Regangan relaksasi merupakan suatu peristiwa berkurangnya tegangan pada suatu materi tertentu terhadap waktu jika ditahan dalam kondisi

regangan yang tetap. Bola grafit dicetak menggunakan cetakan silicon rubber dengan tekanan 150 kN pada luas penekanan  $785 \text{ mm}^2$  selama 10 menit. Pada gambar terlihat skema proses tekan pada pencetakan bola grafit.

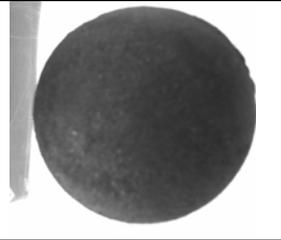
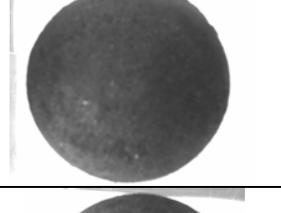


Gambar 8. Skema isometrik proses tekan pada pencetakan bola bahan bakar

Tekanan yang terjadi pada proses pencetakan bahan bakar bola diasumsikan terpusat pada koordinat  $(0,0,0)$  seperti yang terlihat pada gambar diatas. Pada proses pencetakan ini terjadi proses perpindahan partikel atau massa (*migration particle*) yang membentuk *powder* grafit menjadi *solid* grafit. Pola *migration particle* dengan laju kecepatan yang sangat pelan dan alat cetak yang memiliki elastisitas besar menyebabkan partikel terlapis yang ditekan terhindar dari gesekan besar sehingga mencegah *cracking* pada partikel terlapis. Berikut ini gambar bola grafit hasil pencetakan dari waktu ke waktu selama 5 bulan dan disimpan pada suhu kamar.

Pencetakan bola grafit dilakukan pada bulan Oktober 2013 kemudian dilakukan pengamatan dan pengukuran diameter setiap bulannya selama 5 bulan. Pada gambar tidak ditemukan adanya retakan pada permukaan bola dan tidak terjadi perubahan ukuran diameter bola. Dengan fenomena yang terjadi maka diasumsikan bola grafit tidak mengalami regangan relaksasi hal ini disebabkan karena bola grafit disimpan pada suhu kamar dan tertutup sehingga nilai tegangan awal hampir sama dengan tegangan pada saat waktu dilakukan pengamatan.

Tabel 2. Perubahan bola terhadap waktu

Bulan	Diameter (mm)	Gambar
Oktober 2013	56.02	
Nopember 2013	56.02	
Desember 2013	56.02	
Januari 2014	56.02	
Februari 2014	56.02	

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa laju tekan pada bola bahan bakar terpusat pada titik pusat bola. Laju tekan semakin tinggi terjadi pada posisi disekitar pusat bola. Tekanan *pre-pressing* 50 MPa pada permukaan akan mengakibatkan tekanan 52 MPa pada pusat bola. Tekanan *final-pressing* 300 MPa pada permukaan bola mengakibatkan tekanan 318 MPa pada pusat bola. Perbedaan laju tekan pada bola mengakibatkan perbedaan kepadatan pada lapisan bola. Kepadatan bola pada pusat bola lebih besar daripada permukaan bola. Fenomena relaksasi fisik bisa muncul pada permukaan bola karena memiliki kepadatan yang lebih rendah. Bola grafit dicetak menggunakan cetakan silikon rubber memiliki

bentuk yang bulat dengan diameter 56.02 mm. Dari hasil pengamatan selama 5 bulan, bola tidak mengalami retakan dan diameter bola tetap.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Kazuhiro Sawa, Shusuka Shiozawa., Development of a Coated Fuel Particle Failure Model Under High Burnup Irradiation., Journal of Nuclear Science and Technology, Vol 33, No. 9, p. 712-720. 1996
2. Chunhe Tang, Yaping Tang, Junguo Zhu, Xueliang Qiu, Jihong Li, and Shijiang Xu., Research and Development of Fuel element for Chinese 10 MW High Temperature Gas-Cooled Reactor., Journal of Nuclear Science and Technology, Vol 37, N0.9, P. 802 – 806., 2000
3. X.Chen, Y.C.Lam, K.C. Tam, S.C.M. Yu, Particle Migration of Quasi-Steady Flow in Concentration Suspension For Powder Injection Molding, USA, 2000
4. Ir. Utaja, Analisis Distribusi Tegangan Dua Dimensi Berbasis Elemen Hingga, Pada Informasi Bantu Program ATE 2.1.
5. Google:Http://www.el.wikipedia. Org/wki/cairan.
6. M. Sigit Darmawan, Perhitungan Kehilangan Pratekan Total dengan Memakai Teori Kemungkinan. Jurnal APLIKASI ISSN. 1907-753X Vol. 5 No 1, ITS-Surabaya, 2008.

## TANYA JAWAB

### Aris A.

- Pada proses pencetakan bola bahan bakar partikel terlapis senyawa apa yang digunakan sebagai binder dan bentuknya dalam bentuk apa?
- Berapa perbandingan resin yang digunakan untuk pembuatan grafit matrix?

### Dedy Husnurrofiq

- *Senyawa yang digunakan untuk binder matrix grafit adalah Hexamethylene-tetramine dalam bentuk padatan.*
- *Perbandingan resin yang digunakan untuk membuat matrix graphite 64% natural flate grafit : 16% electrographite : 20% hexamethylenetetramine.*

### Sukarsono

- Apakah bisa dilakukan modifikasi pada alat cetakan silikon rubber agar bola yang dihasilkan dari pengepresan menjadi lebih bulat dan tidak terdapat garis pada bagian tengah bola grafit?

**Dedy Husnurrofiq**

- Akan dilakukan modifikasi pada alat cetakan dengan cara memperbesar jari-jari kelonjongan alat cetakan agar diameter bola yang dihasilkan sesuai dengan ukuran bola
- 

*bahan bakar. Untuk mencegah terjadinya garis pada bola ukuran pembagian cetakan akan disesuaikan dimana cetakan pada bagian kedua akan diperbesar.*