



KARAKTERISASI DAN KOMPARASI SERBUK UO_2 DARI PROSES ADU DAN AUC SELAMA PROSES PENGOMPAKAN.

Meniek Rachmawati

Pusat Pengembangan Teknologi Bahan Bakar Daur Ulang - BATAN

ABSTRAK

KARAKTERISASI DAN KOMPARASI SERBUK UO_2 DARI PROSES ADU DAN AUC SELAMA PROSES PENGOMPAKAN. Pemahaman karakter berbagai serbuk dengan sifat-sifat yang berbeda selama proses pengompakan dan sintering akan memberikan informasi yang berguna untuk mendapatkan kondisi fabrikasi yang optimal. Penelitian dilakukan dengan mengamati distribusi ukuran dan bentuk partikel serbuk UO_2 dari proses ADU dan AUC menggunakan SEM. Kemudian ditambahkan pelumas Zn-stearat sebanyak 0,4% berat ke dalam masing-masing serbuk sebelum dikompakkan dengan tekanan 4 dan 5,4 ton/cm². Kelakuan serbuk selama pengompakan dilakukan dengan melakukan karakterisasi panjang, kerapatan, dan struktur mikro dan kekuatan mekanik pelet mentah UO_2 ex-ADU dan ex-AUC menggunakan mikrometer, SEM, dan UTM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa serbuk UO_2 ex-ADU *reproducibility* dan kerapatan pelet mentah UO_2 ex-ADU lebih rendah dibandingkan dengan serbuk UO_2 ex-AUC. Hal ini terlihat pada fluktuasi panjang yang lebih besar dan kerapatan pelet mentah UO_2 ex-AUC (6,415 g/cm³) yang lebih tinggi dibandingkan dengan pelet mentah UO_2 ex-ADU (6,117 g/cm³). Disamping itu kemampuan serbuk UO_2 ex-ADU terhadap tekanan lebih rendah akibat fraksi halus yang lebih banyak. Pada tekanan 3MP kekuatan mekanik mentah UO_2 ex-AUC (47,144 kgf) lebih rendah dibandingkan dengan pelet UO_2 ex-ADU (63,364 kgf). Sedangkan pada 5,4 ton/cm² kekuatan mekanik pelet mentah UO_2 ex-AUC (92,86 kgf) lebih tinggi dibandingkan dengan pelet mentah UO_2 ex-ADU (82,664 kgf). Disarankan untuk melakukan penanganan serbuk awal untuk mendapatkan karakteristik serbuk yang optimal dengan melakukan pengompakan awal dan penggranulasian untuk memperbaiki mampu alir serbuk UO_2 ex-ADU sehingga *reproducibility* dapat diperbaiki.

ABSTRACT

CHARACTERISATION AND COMPACTION BEHAVIOUR OF UO_2 POWDER PREPARED FROM ADU AND AUC. UO_2 powder prepared from ADU and AUC route process are characterised primarily in terms of compaction and sintering behaviour. Scientific understanding of the phenomena will give useful information leading to processing and product improvement. The investigation has been done by characterising the particle size/shape distribution using SEM and compacting the powder at 4 and 5.4 tons/cm². The behaviour of the powder under compaction is observed by characterizing the pellet length, green density, microstructure, and the compression strength using micrometer SEM, and Universal Testing Machine. The results of the experiment show that the UO_2 powder ex- AUC has particles of spherical type and separate individually which provide the flowable characteristic, important for the die filling aspect during compaction step. The UO_2 powder ex- ADU is more or less agglomerated and contains very fine particles causing the difficulty in pressing. Therefore the green density resulted from UO_2 ex-AUC (6.415 g/cm³) is higher than UO_2 powder of UO_2 ex- ADU(6.117 g/cm³). UO_2 at lower pressure (4 tons/cm²) the compression strength ex-AUC green pellet (47,144 kgf) is lower than UO_2 ex-ADU (63,364 kgf), and at higher temperature the compression strength of ex-AUC (92,86 kgf) is higher than UO_2 ex-ADU (82,664 kgf). It is suggested that UO_2 ex -ADU has to be precompacted and granulated in order to increase its flowability so that the pellet length can easily be controlled during pressing ("improve reproducibility").

PENDAHULUAN

Pengompakan adalah proses perubahan serbuk menjadi kompak dengan sifat-sifat tertentu misalnya kerapatan. Pada proses pengompakan, respon serbuk terhadap *compaction stress* tidaklah sama akan tetapi tergantung karakteristik serbuk. Meskipun teknik fabrikasi secara konsisten akan

mempengaruhi kualitas pelet, akan tetapi kualitas pelet terutama ditentukan oleh karakteristik serbuk UO_2 awal yang digunakan^[1], sedangkan karakteristik serbuk awal UO_2 akan ditentukan oleh proses fabrikasinya^[2,3].

Karakteristik serbuk UO_2 dapat dikelompokkan menjadi 2 yaitu karakteristik kimia dan fisika. Karakteristik kimia dipersyaratkan terutama dikaitkan dengan

penyerapan neutron^[1]. Sedangkan karakteristik fisika dipersyaratkan terutama dikaitkan dengan teknologi fabrikasinya^[4]. Karakteristik fisik yang erat kaitannya dengan teknologi fabrikasi meliputi: luas permukaan partikel (*surface area*) dan derajat aglomerasi^[5]. Karakteristik serbuk lainnya yang erat kaitannya dengan sifat fisik diatas adalah O/U, bulk dan *tap density* serta *green density*.

Karakteristik kompakan dapat dikelompokkan menjadi 5: 1). Struktur mikro seperti ukuran butir; 2). Struktur pori pori yang meliputi ukuran, bentuk dan interkoneksinya; 3). Sifat-sifat mekanik seperti "*strength*", "*toughness*", "*fatigue*", 4). Karakteristik permukaan (korosifitas, filtrasi, katalitis); 5). Karakteristik fisik (termal, elektrik, magnetik).

Berdasarkan pertimbangan tersebut, perlu dilakukan penelitian untuk memahami karakter serbuk selama proses fabrikasinya. Pemahaman ini merupakan langkah kearah penguasaan teknologi fabrikasi dengan sasaran perbaikan kualitas produk dengan biaya fabrikasi yang minimum. Disamping itu, penelitian ini akan memberikan pengalaman empirik yang akan memungkinkan BEBE mampu memfabrikasi pelet UO₂ dengan berbagai kualitas serbuk UO₂ yang berbeda. Hal ini akan mengurangi ketergantungan bahan dasar.

PROSEDUR PENELITIAN

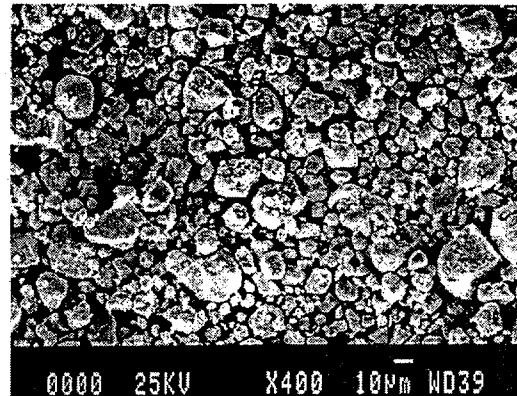
Penelitian dilakukan dengan menggunakan serbuk UO₂ yang berasal dari proses ADU dan AUC. Dilakukan pengamatan distribusi ukuran dan bentuk partikel menggunakan SEM. Pada masing-masing serbuk dicampurkan pelumas Zn-stearat 4% berat sebelum dikompakkan dengan tekanan 4 dan 5,4 ton/cm². Pelet mentah hasil pengompakan diukur kerapatan, kekuatan mekaniknya, dan struktur mikronya menggunakan mikrometer, SEM, dan *Universal Testing Machine*.

HASIL DAN BAHASAN

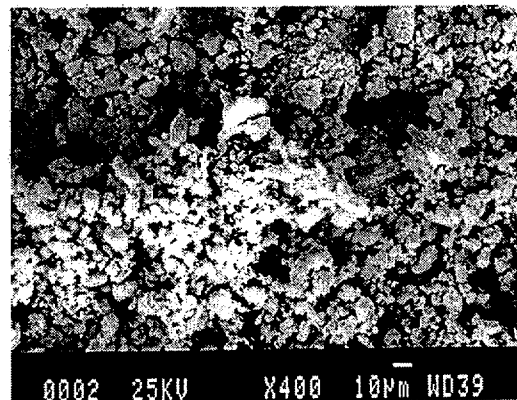
Karakteristik Serbuk

Dari mikrograp 1 terlihat bahwa serbuk UO₂ ex-ADU berbentuk tidak bulat (*non-spherical*) dan mengandung serbuk halus serta cenderung mengaglomerasi.

Serbuk UO₂ yang berasal dari proses AUC mempunyai bentuk partikel bulat (*spherical*) dan terpisah antara partikel satu dengan lainnya sehingga mempunyai mampu alir yang lebih bagus (mikrograp 2).



Mikrograp 1. Partikel serbuk UO₂ ex-ADU yang cenderung mengaglomerasi, bentuk tak beraturan, dan fraksi halus yang lebih besar dibandingkan serbuk UO₂ ex-AUC.



Mikrograp 2. Partikel serbuk UO₂ ex-AUC yang berbentuk "spherical", terpisah satu sama lainnya dan mempunyai mampu alir yang lebih baik

Karakteristik Pelet Mentah UO₂

Tabel 1. Harga kerapatan dan kekuatan mekanik pelet mentah UO₂ ex-ADU dan UO₂ ex-AUC.

Pellet mentah UO ₂	ex-ADU	Ex-AUC
Kerapatan, g/cm ³ .	5,49 (3 MP), 6,12 (4MP)	5,88 (3MP), 6,42 (4MP)
Kekuatan mekanik, kgf.	63,36 (3MP), 82,66 (4MP)	47,14 (3MP), 92,86 (4MP)

Perilaku Serbuk Pada Proses Pengompakan

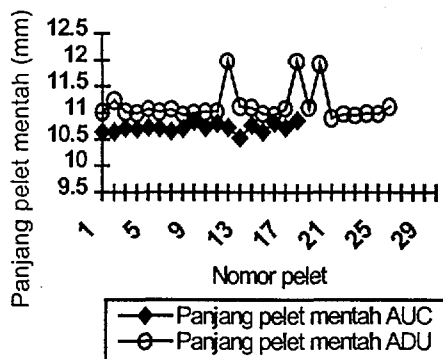
Serbuk UO_2 dari proses AUC yang berbentuk *spherical* (Micrograp 2) akan mempunyai mampu alir yang lebih baik^[6]. Hal ini sangat penting pada aspek pengisian cetakan *dies* selama proses pengompakan. Akibatnya panjang pelet akan lebih mudah dikontrol selama pengompakan sehingga dapat memperbaiki *reproducibility*. Hal ini dapat terlihat pada Gambar 1(a), yang menunjukkan bahwa fluktuasi (kisaran) panjang pelet mentah UO_2 ex-AUC yang lebih kecil dibandingkan dengan pelet mentah UO_2 ex-ADU. Kecenderungan yang sama terjadi pada tekanan yang lebih besar ($5,4 \text{ ton/cm}^2$), akan tetapi panjang pelet mentah UO_2 ex-ADU lebih pendek dibandingkan pelet mentah UO_2 ex-AUC (bandingkan Gambar 1a. dan b.) Bentuk partikel yang tak beraturan dari serbuk UO_2 ex-ADU akan memberikan *apparent density* yang lebih rendah dan memberikan kerapatan pelet mentah yang lebih rendah

dibandingkan serbuk UO_2 ex-AUC (Tabel 1 dan Gambar 2).

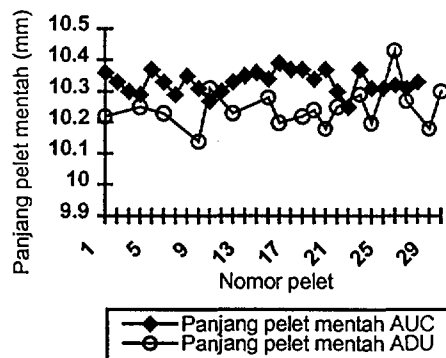
Perbedaan bentuk partikel dari ke dua serbuk UO_2 juga akan mempengaruhi bentuk dan ukuran pori pelet mentah yang dihasilkan (Mikrograp 3). Hal ini semakin jelas pada tekanan yang lebih besar pada, (Mikrograp 4.) terlihat bentuk dan ukuran pori pelet mentah UO_2 ex-AUC bulat dan lebih halus. Sedangkan bentuk dan ukuran pori pelet mentah UO_2 ex-ADU memanjang tegak lurus arah kompakan dan lebih besar. Ukuran pori yang lebih besar akan *collapse* pada tekanan yang lebih rendah dibandingkan dengan pori yang lebih halus.

Oleh karena itu, 10 dari 28 pelet mentah UO_2 ex-ADU patah pada pengompakan serbuk UO_2 ex-ADU pada tekanan $5,4 \text{ ton/cm}^2$. Patahan ini akibat penalaran retak (*crack propagation*) tegak lurus arah kompakan (Mikrograp 5).

Ukuran partikel akan mempengaruhi friksi antar partikel, packing, dan ukuran pori. Ukuran partikel yang semakin halus akan

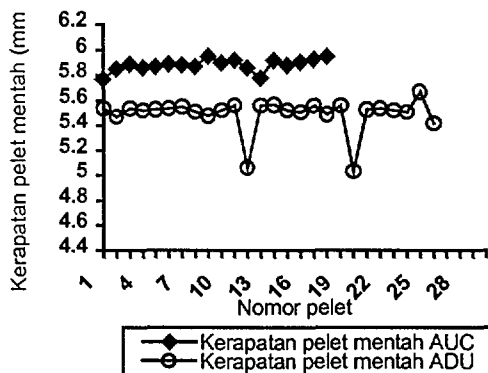


(a) Tekanan pengompakan 4 ton/cm^2

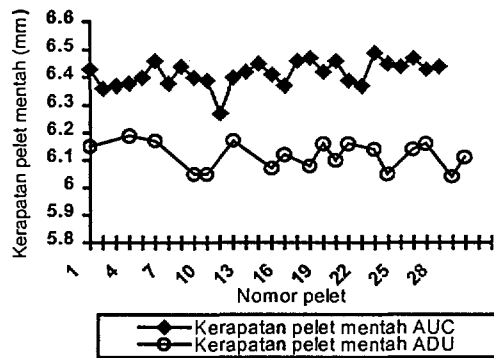


(b) Tekanan pengompakan $5,4 \text{ ton/cm}^2$

Gambar 1. *Reproducibility* yang lebih baik atau panjang pelet UO_2 ex-AUC yang relatif lebih stabil dibandingkan dengan serbuk UO_2 ex-ADU.



(a) Tekanan pengompakan 4 ton/cm^2



(b) Tekanan pengompakan $5,4 \text{ ton/cm}^2$

Gambar 2. Kerapatan pelet mentah UO_2 ex-AUC yang lebih besar dibandingkan dengan pelet mentah UO_2 ex-ADU

mempunyai friksi antar partikel dan dinding *dies* yang semakin tinggi sehingga diperlukan tekanan pengompakan yang besar untuk mengatasi friksi tersebut untuk mendapatkan kompakan dengan kerapatan yang tinggi (Tabel 1 dan Gambar 2). Disamping itu *particle workhardening* akan lebih besar karena jarak dislokasi (*slip*) yang lebih kecil pada partikel yang lebih halus sehingga kerapatan pelet mentah yang dihasilkan akan lebih rendah (Tabel 1 dan Gambar 2). Ukuran partikel yang lebih halus akan menimbulkan variasi tekanan yang semakin besar yang akan menghasilkan kerapatan kompakan yang tidak homogen sepanjang kompakan.

Derajat aglomerasi akan mempengaruhi pengompakan^[6]. Aglomerasi terjadi karena luas muka serbuk yang tinggi dan cenderung tidak mengalir bebas serta mempunyai *apparent density* yang rendah. Hal ini akan mempengaruhi aspek pengisian *dies* sehingga menyulitkan kontrol panjang kompakan (Gambar 1.) dan pencapaian kerapatan kompakan tinggi (Gambar 2.). Lebih lanjut luas permukaan partikel yang tinggi akan menimbulkan friksi antar partikel dan dinding cetakan yang lebih besar sehingga homogenitas kompakan akan turun.

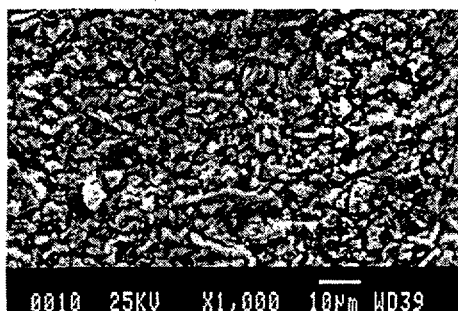
SIMPULAN

Serbuk UO_2 ex-AUC mempunyai bentuk partikel spheris (*spherical*) dan terpisah satu dengan lainnya. Sedangkan serbuk UO_2 ex-ADU mempunyai bentuk partikel *non-spherical* dan cenderung mengaglomerasi. Serbuk UO_2 ex-ADU memiliki fraksi ukuran partikel halus yang lebih banyak dibandingkan dengan serbuk UO_2 ex-AUC. Karakteristik tersebut memberikan konsekuensi sebagai berikut :

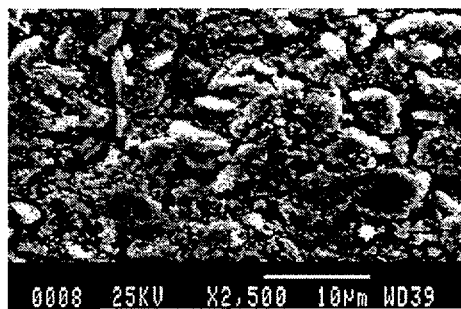
1. Serbuk UO_2 ex-AUC lebih mudah dikompakkan untuk mendapatkan kerapatan pelet mentah yang tinggi daripada serbuk UO_2 ex-ADU.
2. Kontrol dimensi pelet UO_2 ex-AUC lebih mudah dibandingkan pelet UO_2 ex-ADU.
3. Kerapatan pelet mentah UO_2 ex-AUC sepanjang kompakan lebih homogen dibandingkan pelet UO_2 ex-ADU.

SARAN

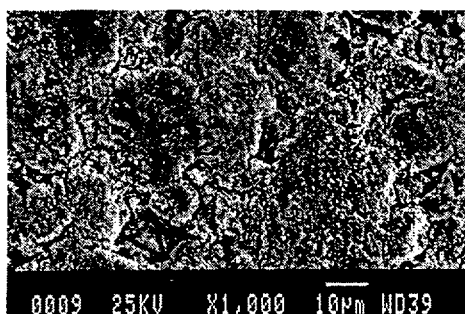
Disarankan untuk melakukan penanganan serbuk awal untuk mendapatkan karakteristik serbuk yang optimal untuk kepentingan proses. Berdasarkan hal tersebut, dilakukan pengompakan awal dan penggranulasian untuk memperbaiki mampu alir serbuk UO_2 ex-ADU sehingga *reproducibility* dapat diperbaiki.



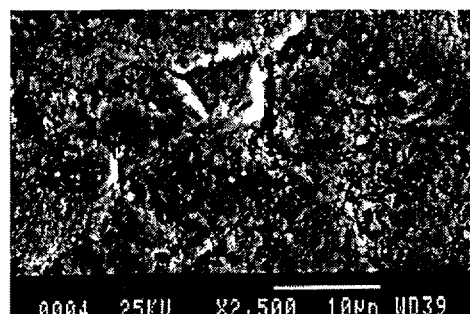
(a)



(b)

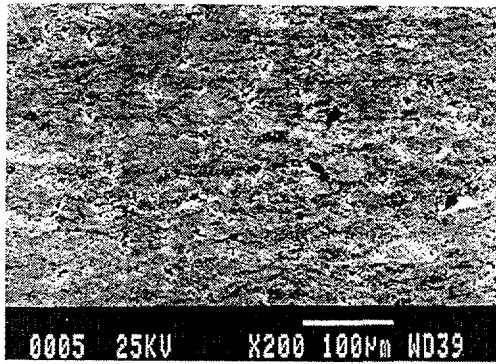


(c)

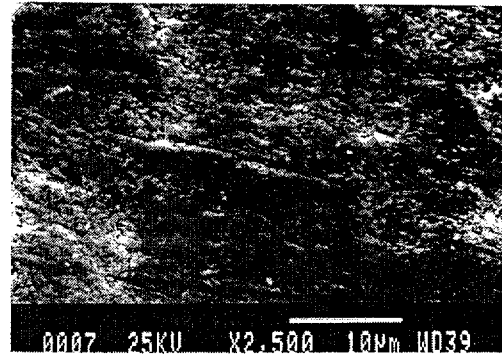


(d)

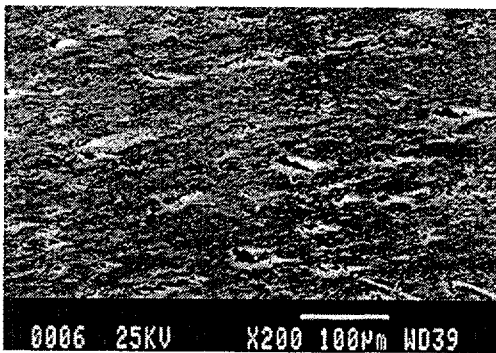
Micrograph 3. a, b: Pelet mentah UO_2 -ex ADU (4 ton/cm²), c, d: pelet mentah UO_2 -ex AUC (5,4 ton/cm²).



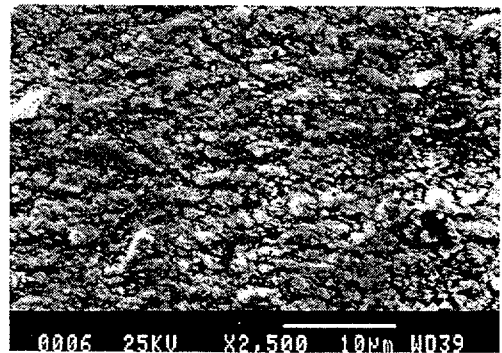
(a)



(b)



(c)



(d)

Mikrograf 4. a, b. UO_2 ex-AUC ($5,4 \text{ ton/cm}^2$), c, d. UO_2 ex-ADU ($5,4 \text{ ton/cm}^2$).

PUSTAKA

- [1]. GLODEANU, F. M AND BALAN. V, 1988, *Correlation Between UO_2 Powder and Pellet Quality in PHWR Fuel Manufacturing*, Journal of Nuclear Materials Vol.153, page 156-159 North Holland, Amsterdam.
- [2]. YI MING PAN, CHE BAO MA AND NIEN – HAN HSU, 1981, *Journal of Nuclear Materials*, Vol. 99, page 135-147, North Holland Publishing Company, Amsterdam.
- [3]. CHOTARD, A, 1991, *Fabrication, Characteristics and in-Pile Performance of UO_2 Pellets Prepared from Dry Route Powder*, Key Engineering Materials, Vol.56-57, page 471-488, Switzerland.
- [4]. RADFORD, K.C. AND POPE, I.M, 1983, *UO_2 Fuel Pellet Microstructure Modification*, Journal of Nuclear Materials, page 305-313, North Holland Publishing Company, Amsterdam.
- [5]. YANAI DKK, *Characterisation of Ceramic Powder Compact*, Journal of Nuclear Materials, July 1955 Vol. 224 (1), p.79-84.
- [6]. DEJU DKK, *Study of External Friction During UO_2 Powder Compaction*, Journal of Nuc. Mat., 1980, Vol. 25 (6), p.713-722.

TANYA JAWAB

1. Futichah
 - Pada penanganan serbuk awal disarankan untuk dikompakkan awal/ granulasi, apakah tidak ada cara lain (misalkan secara kimia)

untuk memperbaiki mampu alir serbuk UO_2 ex ADU, tetapi tentu saja harus meninjau sifat nuklir bahan kimia tersebut ?

Meniek Rachmawati

- Dari yang saya baca, penambahan bahan kimia untuk memperbaiki mampu alir belum ada. Hal ini karena mampu alir kaitannya dengan karakteristik fisik serbuk intrinsik/ ekstrinsik (mohon dilihat di sub bab bahasan dalam makalah saya. Sedangkan penambahan zat kimia kaitannya dengan serapan netron.

2. Sungkono

- Mengapa tujuan penelitian anda dengan kesimpulan yang diperoleh tidak nyambung. Tujuan penelitian terlalu umum ?
- Mohon dijelaskan fenomena *mechanical interlocking*.

Meniek Rachmawati

- Di dalam suatu penulisan ilmiah, kesimpulan menyatakan apakah hipotesa terbukti ada tidak sedangkan tujuan dari penelitian dan pengembangan fabrikasi bahan bakar adalah penguasaan teknologi fabrikasi (lihat tujuan di proposal uspen kita).
- Fenomena *mechanical interlocking* mohon dibaca di dalam makalah saya.