

## Numerical Simulation of Salt Particle in Low-Speed Horizontal Screw Conveyor of Solar Salt Harvester

Sukmaji Indro Cahyono<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret – Surakarta

\*Corresponding author: sukmaji@ft.uns.ac.id

**Abstract.** The solar salt fields in coastal areas have a renewable energy source i.e. wind energy. While in the harvesting process, the salt was transported manually, it needs a prototype to solve. This research aimed to find the design of the screw conveyor horizontal type for solar salt harvesting machine. It used to collect salt in certain area for easy transportation from the solar salt fields to the next process. In this paper is focused on numerical calculations of auger structure using FEA software and transport efficiency of horizontal screw conveyor salt crystals that are adapted to the low speed torque-rotating at 50 rpm. This numerical simulation on variable capacity by 20%, 40% and 50% of the total transverse piece screw conveyor is determined. The width of the pitch of screw varies between 50, 100, 150, 200, and 250 mm. Length unit varied salt harvesters of machine 1, 1.25, 1.5, 1.75 and 2 m. From the results on the same speed the more the width of the pitch and getting longer units of mechanical harvesting of salt then the moment takes increasingly high, but otherwise the safety factors declined with the critical strength on the welding connection between the screw with the shaft. The phenomenon of the motion of the salt particle, the faster motion and rotation movement particle salt crystals happened when capacity increases.

**Abstrak.** Ladang garam di daerah pantai memiliki sumber energy terbarukan yaitu angin. Sedangkan pada transportasi proses pemanenan garam masih secara manual. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mencari desain *screw conveyor* tipe horizontal pada mesin panen garam untuk proses pengumpulan garam siap panen yang tersebar di ladang garam. Pada paper ini difokuskan pada perhitungan numerik menggunakan *software Finite Element Analysis* (FEA) dan efisiensi pemindahan kristal garam horizontal *screw conveyor* yang disesuaikan dengan torsi-kecepatan putar yang rendah pada 50 rpm. Pada simulasi numerik ini variable kapasitas sebesar 20%, 40 % dan 50% dari total potongan melintang *screw conveyor* ditentukan. Lebar *pitch* ulir bervariasi antara 50, 100, 150, 200, dan 250 mm. Panjang unit mesin pemanen garam bervariasi 1, 1.25, 1.5, 1.75 dan 2 m. Dari hasil pengujian pada kecepatan putar yang sama semakin lebar *pitch* dan semakin panjang unit mesin pemanen garam maka momen putar yang dibutuhkan semakin tinggi, namun sebaliknya faktor keamanan semakin menurun dengan tegangan kritis terletak diantara sambungan antara ulir dengan poros. Fenomena gerak partikel semakin cepat dan terjadi gerak berputar pada partikel Kristal garam bila kapasitas semakin meningkat.

**Keywords:** screw conveyor, simulasi FEA, gerak partikel, ladang garam

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

### Pendahuluan

Pada proses pemanenan garam pada umumnya dilakukan secara manual oleh petani garam di Indonesia [1]. Butiran garam yang telah mengkristal di ladang garam dikumpulkan sedikit demi sedikit pada area ladang garam tertentu. Setelah garam terkumpul garam dipindahkan dengan skop ke alat pengangkut seperti gerobak dorong maupun dipikul ke kapal pengangkut atau truk yang kemudian diangkut ke gudang pencucian garam [2], lihat Gambar 1.

Bila dibandingkan dengan negara maju, yang telah memiliki mesin pemanen garam memiliki harga yang mahal dan membutuhkan energi fosil. Prinsip kerja mesin pemanen garam yang digunakan adalah *coveyor* tipe *Belt* baik secara

horizontal maupun miring vertical [3], lihat Gambar 2.



**Gambar.1** proses panen di ladang garam secara tradisional, (a) pengumpulan garam (b) pengangkutan garam dari ladang garam

*Screw Conveyor* biasanya digunakan pada proses pengolahan biji plastik seperti pada mesin *Screw Extruder* maupun pada pertanian sebagai pemindah hasil-hasil pertanian seperti biji-bijian,

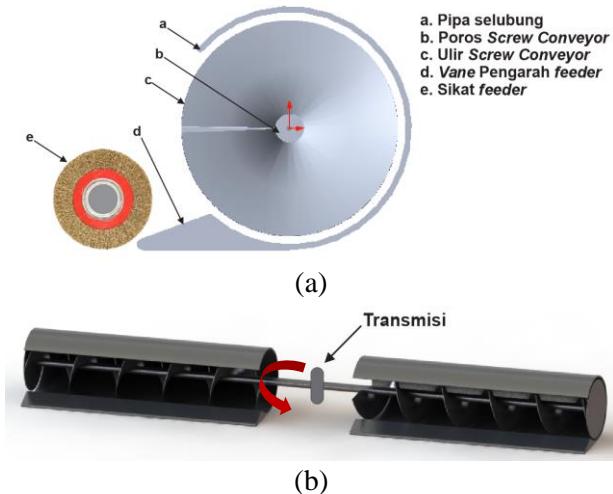
beras, dengan efisiensi pemindahan yang cukup tinggi [4].



**Gambar 2** Mesin pemanen garam di ladang garam negara maju.

Sementara energi terbarukan yaitu angin, telah dimanfaatkan sebagai pompa air garam ke ladang garam maupun memompa air tua ke selokan pembuangan limbah [5]. Energi angin belum banyak dimanfaatkan oleh petani garam sebagai sumber penggerak alat aplikasi lainnya.

Penelitian mengenai screw conveyor dengan eksperimen telah dilakukan oleh beberapa peneliti untuk mengukur performa pengangkutan [6, 7, 8]. Sementara pada peneliti lainnya, performa screw conveyor dianalisa dengan pendekatan simulasi Finite Element Method (FEM) dan Discrete Element Method (DEM) [9, 10, 11, 12]

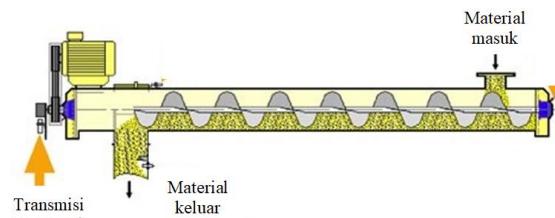


**Gambar 3.** (a) Komponen pada model screw Conveyor. (b) Unit konveyor bergerak maju dan gerak ulir konveyor mengumpulkan kristal garam ke tengah.

Pada penelitian kali ini akan *Screw Conveyor* dianalisa menggunakan simulasi struktur FEA untuk mengetahui daya yang dibutuhkan dalam mengumpulkan garam, sehingga dapat diperkirakan kebutuhan turbin angin yang akan dibuat sebagai energy penggerak *Conveyor* tersebut. Unit pemanen garam (*Screw Conveyor* dan turbin angin) akan bergerak mengupulkan garam dengan sedirinya secara otomatis/nirawak, seperti ilustrasi pada Gambar 3. Sepanjang angin bertiup unit tersebut terus bekerja siang dan malam, sehingga dapat mengurangi resiko keterlambatan pemanenan, mempercepat produksi dan meningkatkan efisianesi

produksi garam. Secara tidak langsung dapat mempercepat kemandirian bangsa untuk dapat mengurangi ketergantungan impor garam yang terus berlangsung hingga saat ini.

Ketika Kristal galam masuk ke dalam PVC, poros berputas bersama ulir yang berada di dalam pipa. Kristal garam dengan berat akibat gravitasi dan viskositas yang rendah tidak ikut berputar bersama ulir dan sedikit demi sedikit bergeser akibat perputaran ulir. Gerak demikian secara otomatis akan mengumpulkan garam pada salah satu sisi pipa atau bagian tengah unit pengumpul garam, seperti ilustrasi pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Skematik cara kerja screw conveyor pada mesin pemanen jagung.

Sebagian energi yang ditransmisikan dari poros turbin angin juga digunakan untuk menggerakkan unit ke depan, hingga menuju tepi ladang daram (bedeng). Setelah unit tuas menyentuh dinding bedeng unit akan bergerak menyamping selama beberapa meter kemudian bergerak mundur hingga untuk memanen garam hingga tuas menyentuh dinding bedeng, dan seterusnya hingga dapat melalui seluruh permukaan ladang garam.

## Metode Penelitian

Pada penelitian ini akan difokuskan pada analisa Model struktur ulir *Screw Conveyor*. Analisa FEA menggunakan *software* Ansys ini menggunakan perhitungan numerik sebagai berikut.

Persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Momentum pada sumbu x, y, dan z didefinisikan dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho u v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho u w)}{\partial z} &= -\frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{1}{Re_f} \left[ \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right] \\ \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u v)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v w)}{\partial z} &= -\frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{1}{Re_f} \left[ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right] \\ \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u w)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v w)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} &= -\frac{\partial \rho}{\partial z} + \frac{1}{Re_f} \left[ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

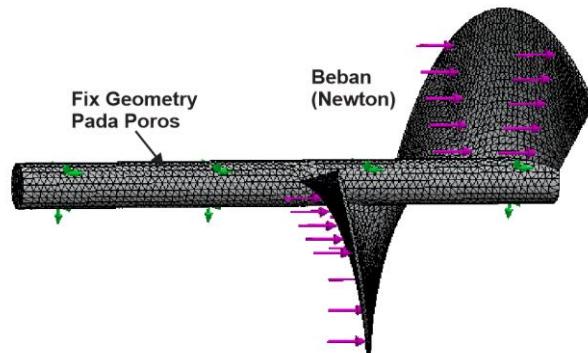
## Validasi Ukuran Mesh

Dalam simulasi struktur, geometri ulir terbagi menjadi bagian kecil yang disebut *mesh*. Semakin kecil ukuran *mesh* maka akan mendekati geometri yang sebenarnya sehingga memiliki akurasi

pehitungan numerik yang baik, namun bila jumlah *mesh* banyak maka waktu iterasi komputer yang dibutuhkan lebih lama. Sedangkan bila ukuran *mesh* besar waktu iterasi komputer akan menjadi lebih cepat namun tidak semua bagian geometri dapat diisi oleh *mesh* sehingga tidak dapat merepresentasikan geometri yang utuh. Sebagai validasi simulasi ini *mesh* dianggap memiliki akurasi yang baik ketika dilakukan proses pengurangan ukuran *mesh* secara bertahap hingga hasil perhitungan yang dicari memiliki selisih kurang dari 8% dibanding dengan hasil dari ukuran *mesh* sebelumnya yang lebih besar.

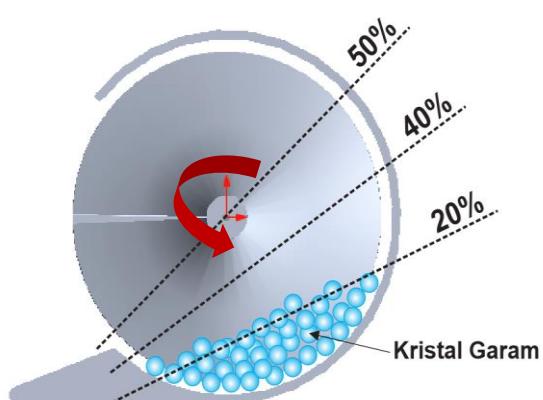
### Penyederhanaan model konveyor ulir

Kondisi batas telah ditentukan dan disederhanakannya model pada konveyor ulir menjadi hanya 1 pitch saja dilakukan untuk meningkatkan akurasi dan mempersingkat waktu pemrosesan, lihat Gambar 5.



**Gambar 5.** Kondisi batas pada simulasi struktur ulir konveyor dan poros.

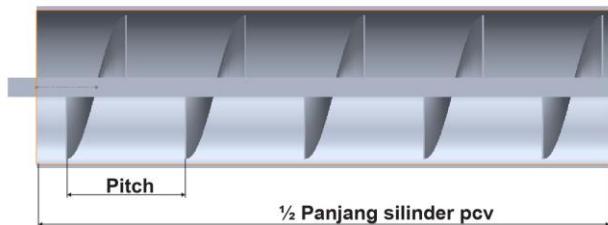
Besarnya pembebahan tergantung pada kapasitas variabel kristal garam pada potongan melintang silinder dan ulir yaitu 20%, 40% dan 50%. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 6 berikut.



**Gambar 6.** Kapasitas dari potongan tengah screw conveyor terhadap garam yang dipindahkan.

### Geometri Model Ulir Konveyor

Pada penelitian ini ulir pada *screw conveyor* dianalisa menggunakan FEA software secara 3D. Geometri pipa yang digunakan 8 inch atau 203,2mm dan tebal 5mm sehingga ukuran diameter ulir adalah 180 mm dengan celah total dengan dinding PVC 13 mm. Panjang unit *Screw Conveyor* bervariasi 1, 1.25, 1.5, 1.75 dan 2 m.



**Gambar 7.** Skematik Cara kerja screw conveyor pada mesin pemanen jagung.

Panjang PCV maksimum dibatasi oleh lebar unit pemanen dan kemampuan menangkap daya turbin angin dengan kecepatan angin rata-rata sebesar 3 m/s. Lebar *pitch* ulir bervariasi antara 50, 100, 150, 200, dan 250 mm, lihat Gambar 7.

Variable pembebahan yang akan di variasikan adalah beban berupa kapasitas Kristal garam sebanyak 20%, 40% dan 50% dari diameter potongan melintang *screw conveyor*.

### Validasi Pembebahan dengan Pengujian

Pembebahan diperoleh untuk memenuhi variable kapasitas didapat melalui eksperimen sederhana, sebuah plat tipis berbentuk melingkar dengan diameter 180mm sama seperti diameter ulir *screw conveyor*. Plat tersebut diberi poros tegak lurus terhadap bidang plat. Poros diletakkan secara horizontal di atas Kristal garam dan plat dibenamkan di dalam Kristal garam sedalam 20%, 40% dan 50% dari seluruh plat melingkar. Kemudian poros ditarik dengan sebuah timbangan gantung beban penarik diukur sebanyak 5 kali dan dibuat rata-rata, dijabarkan dalam Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil rata-rata pengujian tarik beban sebuah plat dengan diameter 180 mm pada garam krosok.

No.	dibenamkan	Beban (Kg)
1	20%	0,263
2	40%	0,741
3	50%	1,171

Asumsi pengujian pembebahan ini bila terjadi beban puncak akibat bongkahan besar Kristal garam, sedangkan unit yang lengkap beban pada *screw* lebih kecil dibanding eksperimen.

Daya yang dibutuhkan oleh *conveyor* dihitung dengan kecepatan rotasi dan torsi seperti pada persamaan 1 di bawah ini.

$$P = \frac{\pi \tau \omega}{30} \quad (1)$$

di mana

P = Daya (W)

$\tau$  = Torsi (N.m)

$\omega$  = Kecepatan putar (rpm)

Effesiensi rasio pemindahan kristal garam didefinisikan sebagai besarnya daya yang dibutuhkan untuk memindahkan kristal garam setiap daya input yang dibutuhkan untuk memutar ulir.

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3}{P} \quad (2)$$

di mana

$\eta$  = Effesiensi rasio pemindahan

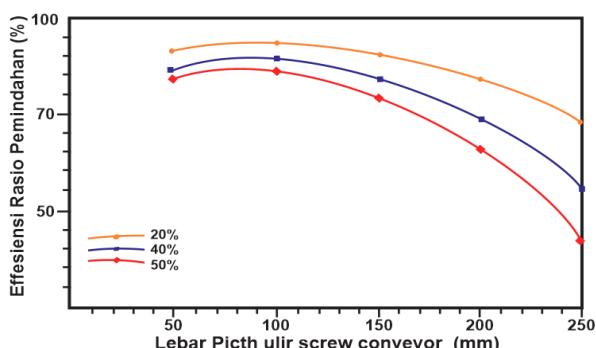
$\rho$  = Massa jenis kristal garam

A = Luas penampang melintang silinder

V = Kecepatan berkumpulnya garam di sisi tengah unit pemanen

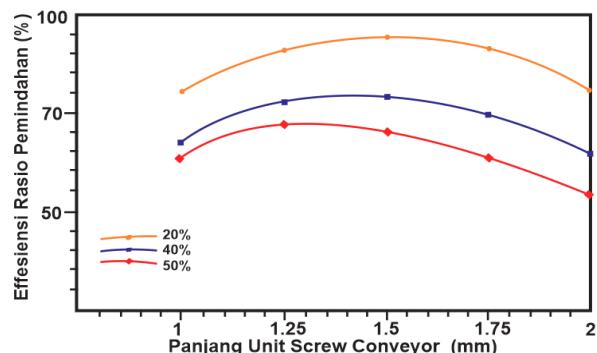
### Hasil simulasi dan diskusi

Hasil pengujian dijadikan *input* pembebahan pada simulasi dengan geometri yang sesuai dengan variabel simulasi pembebahan statis pada *screw conveyor*. Performa *screw conveyor* di interpretasikan sebagai effesiensi rasio pemindahan partikel kristal garam.



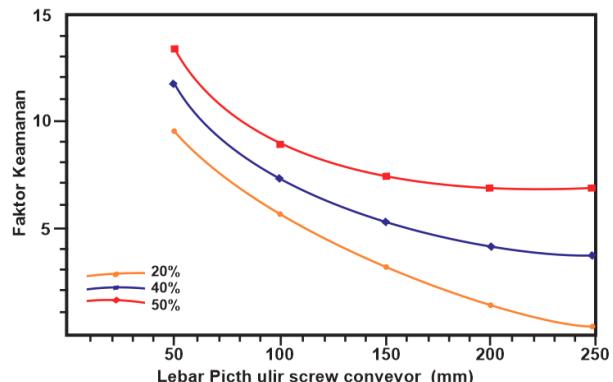
Gambar 8. Lebar pitch ulir screw conveyor terhadap effesiensi rasio pemindahan kristal garam.

Pada Gambar 8 trenline lebar ulir screw menunjukkan semakin lebar pitch maka efesiensi rasio semakin turun. Hal ini disebabkan karena terjadi gesekan antara Kristal dengan dinding silinder yang lebih tinggi dibanding dengan ulir.



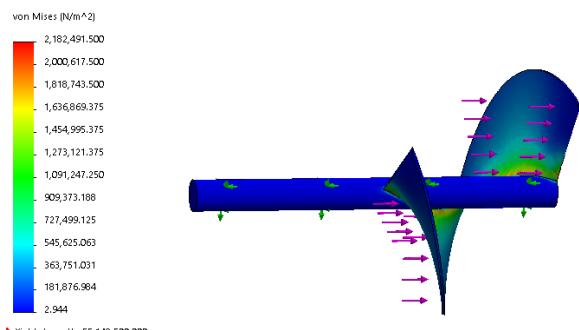
Gambar 9. Panjang unit screw conveyor terhadap effesiensi rasio pemindahan kristal garam.

Gambar 9 Menunjukkan optimal effesiensi pemindahan berada pada panjang unit 1,5 m. hal ini disebabkan bila terlalu pendek maka kapasitas pemindahan menurun sedangkan bila terlalu panjang maka beban pemindahaan meningkat, hal tersebut menyebabkan trenline grafik menyerupai parabola terbalik.



Gambar 10. Lebar pitch ulir screw conveyor terhadap Faktor keamanan (Safety Factor) dengan menggunakan material alumunium.

Pada Gambar 10 menampilkan trenline lebar ulir skcrew, semakin lebar pitch

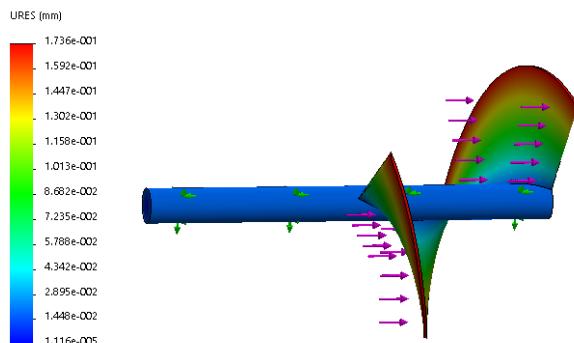


Gambar 11. Distribusi tegangan Von Misses sebuah ulir.

Pada Gambar 11 menampilkan pembebahan dengan pitch screws sebesar 100mm dan pembebahan sebesar 2,63 N. Pada gambar distribusi tegangan von misses, bagian struktur ulir

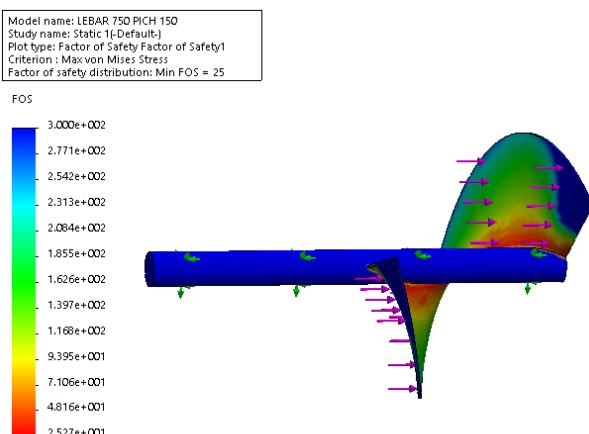
terjadi tegangan paling tinggi pada bagian sambungan ulir dengan poros. Hal ini terjadi karena poros dengan memiliki struktur yang tebal disambungkan dengan plat yang lebih tipis sehingga struktur sambungan menjadi lebih kritis.

Pada Gambar 12. Menampilkan defleksi struktur pada ulir, di mana pada bagian ujung plat ulir yang bertemu dengan beban Kristal garam menjadi bagian yang paling melentur. Hal ini dikarenakan pada bagian pingir tersebut tidak ada struktur yang menahan beban, namun besar defleksi masih dalam batas yang wajar yaitu maksimum sebesar 0.17 mm.



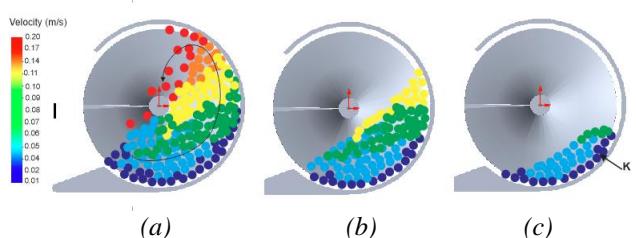
**Gambar 12.** Defleksi pada sebuah ulir, nilai maksimal terdapat pada bagian pinggir ulir model.

Pada Gambar 13, menampilkan faktor keamanan, material yang diinputkan adalah alumunium sehingga faktor keamanan terendah yang dihasilkan cukup tinggi yaitu sebesar 25,27. Hal itu mengindikasikan dengan menggunakan material alumunium pada aplikasi struktur ulir konveyor masih dapat menahan beban sebesar 25 kali lipat. Lebih dari 25 kali beban ditentukan dalam simulasi, maka bagian yang pertama kali rusak ditampilkan pada gambar dengan area berwarna merah, yaitu pada area sambungan.



**Gambar 13.** Kapasitas dari potongan tengah screw conveyor terhadap garam yang dipindahkan.

Pada fenomena pergerakan partikel kristal garam Gambar 14, ketika ulir konveyor dioperasikan, ulir konveyor bergerak berlawanan arah jarum jam, pada kondisi Kristal garam cukup halus dan kering maka Kristal garam akan mudah mengalami slip dan tidak naik ke dinding silinder sehingga mudah dipindahkan, namun terjadi masalah bila Kristal garam kasar dan mengandung cairan/fluid. Sebagian kristal garam akan ikut berputar dan memenuhi dinding silinder mengakibatkan sulit dipindah dan pembebahan meningkat.



**Gambar 14.** Kapasitas dari potongan tengah screw conveyor terhadap garam yang dipindahkan (a) kapasitas 50%, (b) kapasitas 40% dan (c) kapasitas 20%.

Seluruh variable kapasitas uji simulasi memiliki partikel kristal garam yang akan bergerak tegak lurus terhadap bidang putar. Namun untuk menganalisa pergerakan partikel akibat kondisi Kristal garam dan gravitasi dapat ditampilkan pada Gambar 14.

Gambar a menampilkan kapasitas Kristal garam yang mencapai 50%, menunjukkan ketika ulir diputar berlawanan arah jarum jam terjadi perputaran pada kristal garam naik mengikuti perputaran ulir menabrak dinding silinder hingga mendekati puncak dinding jatuh ke bawah akibat berat gravitasi. Hal ini menyebabkan efisiensi perpindahan material Kristal garam menurun. Sedangkan pada gambar b hanya sedikit terjadi pergeseran, dilihat dari partikel berwarna kuning. Sementara pada gambar c, permindahan partikel lebih baik dan tidak terjadi perputaran garam sepanjang potongan melintang tersebut.

Dari fenomena di atas dapat diketahui bila terjadi perbedaan kapasitas masuk Kristal garam maka efisiensi dan pembebahan tidak seragam sehingga peran poros ulir sebagai penyerangam dan pendistribusi gaya dapat berpengaruh besar.

## Kesimpulan

Dari hasil pengujian pada kecepatan putar yang sama semakin lebar *pitch* dan semakin panjang unit mesin pemanen garam maka momen putar yang dibutuhkan semakin tinggi, namun sebaliknya faktor keamanan semakin menurun dengan tegangan kritis terletak diantara sambungan antara ulir dengan poros. Fenomena gerak partikel semakin cepat dan terjadi gerak berputar pada partikel kristal garam bila kapasitas semakin meningkat.

## Referensi

- [1] Rochwulaningsih, Y., 2007. Petani Garam dalam Jeratan Kapitalisme: Analisis Kasus Petani Garam di Rembang Jawa Tengah. *Jurnal Masyarakat, Kebudayaan dan Politik* Tahun XX, (3).
- [2] Saksono, N., 2002. Studi pengaruh proses pencucian garam terhadap komposisi dan stabilitas yodium garam konsumsi. *Makara Journal of Technology*, 6(1).
- [3] Yildiz, M. and Soğancı, A.S., 2010. Evaluation of geotechnical properties of the salt layers on the Lake Tuz. *Scientific Research and Essays*, 5(18), pp.2656-2663.
- [4] Merritt, A.S. and Mair, R.J., 2008. Mechanics of tunnelling machine screw conveyors: a theoretical model. *Geotechnique*, 58(2), pp.79-94.
- [5] Herlambang, Y.D., 2008. Unjukkerja Turbin Angin Nibe 3-Sudu Menggunakan Pompa Sudu Luncur untuk Pengambilan Air. *Jurnal Eksperi*, 4, pp.12-16.
- [6] Owen, P.J. and Cleary, P.W., 2009. Prediction of screw conveyor performance using the Discrete Element Method (DEM). *Powder Technology*, 193(3), pp.274-288.
- [7] Owen, P.J. and Cleary, P.W., 2010. Screw conveyor performance: comparison of discrete element modelling with laboratory experiments. *Progress in Computational Fluid Dynamics, An International Journal*, 10(5-6), pp.327-333.
- [8] Waje, S.S., Thorat, B.N. and Mujumdar, A.S., 2006. An experimental study of the thermal performance of a screw conveyor dryer. *Drying Technology*, 24(3), pp.293-301.
- [9] Shimizu, Y. and Cundall, P.A., 2001. Three-dimensional DEM simulations of bulk handling by screw conveyors. *Journal of engineering mechanics*, 127(9), pp.864-872.
- [10] Owen, P.J. and Cleary, P.W., 2009. Prediction of screw conveyor performance using the Discrete Element Method (DEM). *Powder Technology*, 193(3), pp.274-288.
- [11] Hu, G., Chen, J., Jian, B., Wan, H. and Liu, L., 2010, June. Modeling and simulation of transportation system of screw conveyors by the discrete element method. In *Mechanic Automation and Control Engineering (MACE)*, 2010 International Conference on (pp. 927-930). IEEE.
- [12] Xiong, Q., Aramideh, S., Passalacqua, A. and Kong, S.C., 2015. Characterizing effects of the shape of screw conveyors in gas-solid fluidized beds using advanced numerical models. *Journal of Heat Transfer*, 137(6), p.061008.
- [13] Wan, Y. and Hanley, T.R., 2004. Computational fluid dynamics simulation and redesign of a screw conveyor reactor. In *Proceedings of the Twenty-Fifth Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals Held May 4-7, 2003, in Breckenridge, CO* (pp. 733-745). Humana Press, Totowa, NJ.