

Konsep Desain Mesin Panen Garam Kendali Manusia Berkapasitas 25 kg per *Batch*

Didik Ariwibowo^{1*}, Sutrisno¹, Juli Mrihardjono¹, Bagus Wijayanto², Budi Prasetyo²

¹Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

²Balai Industri Logam dan Kayu, Disperindag Jateng,
Jl. Industri Raya Barat No.1 LIK Bugangan Baru Semarang, Indonesia 5011

*E-mail: didikariwibowo70@gmail.com

Diajukan: 29-03-2022; Direvisi: 15-12-2022; Dipublikasi: 23-12-2022

Abstrak

Di Indonesia, proses panen garam dari meja garam dilakukan oleh manusia dengan menggunakan sekop. Proses tersebut tidak produktif karena keterbatasan tenaga manusia yang melakukan di bawah lingkungan panas terik matahari. Untuk itu, konsep desain mesin panen garam dikemukakan dan dievaluasi. Metode dalam mengonsep desain mesin panen garam merujuk pada metode desain rekayasa dari Pahl dan Beitz, yang dimulai dari dekomposisi fungsi hingga keputusan memilih konsep desain terbaik. Konsep desain mengarah bahwa mesin panen garam tersebut digunakan untuk mengambil garam dari meja garam dan memindahkannya kedalam karung. Semua fungsi dilakukan dalam satu mesin dan digerakkan oleh suatu penggerak mula. Sedangkan pengendalian terhadap jalannya mesin dilakukan oleh manusia atau operator. Beberapa kriteria desain mesin diantaranya adalah kapasitas 25 kg garam per batch, dan berat mesin yang didukung oleh meja garam tidak lebih dari 30 kg untuk menjamin geoisolator meja garam tidak rusak. Tujuan dari evaluasi ini untuk mendapatkan konsep desain mesin terbaik yang produktif dan memenuhi kriteria. Tahap evaluasi desain meliputi dekomposisi fungsi, pengembangan konsep dengan bantuan matriks morfologi dan evaluasi kelayakan, yang menentukan apakah desain tersebut lolos atau tidak dengan menggunakan matriks keputusan. Secara teknis, beberapa konsep desain diajukan dan kemudian dikembangkan dengan dasar kriteria atau batasan-batasan desain. Hasilnya adalah suatu konsep desain mesin panen garam yang efisien, produktif, dan ramah lingkungan, yang direkomendasikan untuk selanjutnya dibuat prototipe virtual dan diuji.

Kata kunci: desain; garam; mesin; pahl; panen

Abstract

In Indonesia, salt harvesting salt process from salt fields is carried out by humans using a shovel. The process is not productive because of the limited human power to do it in a hot solar environment. For this reason, the design concept of a salt harvesting machine is proposed and evaluated. Method for conceptual design of salt harvesting machine refers to Pahl and Beitz engineering design method, which began from functional decomposition to decision to choose the best design concept. The design concept lead to that the salt harvesting machine is used to take salt from the salt field and transfer it into sacks. All of these functions are carried out in one machine, and driven by a prime mover. While controlling the direction of the machine is done by humans or operator. The machine design criteria demands a machine capacity of 25 kg of salt per batch, and the weight of the machine supported by the salt field does not exceed 30 kg to ensure the geoisolator not damaged. The purpose of this evaluation is to get the best machine design concept that is productive and meets the criteria. The design evaluation stages include functional decomposition, concept development with helping of a morphological matrix and feasibility evaluation, as well as determining whether the design passes or not using a decision matrix. Technically, several design concepts are proposed and then further developed based on design criteria or limitations. The result is an efficient, productive, and environmentally friendly salt harvester design concept, which is recommended for further virtual prototyping and simulation testing.

Keywords: design; salt; machine; pahl; harvest

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang kaya akan potensi garam namun produktivitasnya masih rendah dan belum mampu memenuhi kebutuhan garam nasional. Hal itulah yang menyebabkan Indonesia mengimpor garam dengan nilai lebih dari 1 triliun rupiah (~90,000 USD) setiap tahunnya. Salah satu penyebab rendahnya produktivitas garam adalah

mekanisme evakuasi garam pada saat panen. Di sisi lain, usaha peningkatan kualitas garam diantaranya adalah dengan pengembangan teknologi *geo-membrane* HDPE (*High Density Poly Ethylene*) atau *geoisolator* [1].

Dalam rangka usaha peningkatan produktivitas dan kualitas produksi garam, penggunaan *geoisolator* telah dilakukan oleh petani di daerah Pati Jawa Tengah [2]. Mesin panen garam juga telah dikembangkan dan diuji cobakan di daerah tersebut [3]. Namun, usaha peningkatan tersebut menemui masalah karena penggunaan mesin panen garam dapat merusak *geoisolator* sehingga fungsi *geoisolator* sebagai pelapis tanah menjadi hilang. Karena itu proses panen garam di meja garam yang dilapisi *geoisolator* masih menggunakan sekop dan dikerjakan oleh tenaga manusia. Proses panen tersebut menjadi tidak produktif karena keterbatasan tenaga manusia untuk mengerjakannya di lingkungan panas terik matahari.

Mesin panen garam yang tersedia saat ini hanya digunakan pada meja garam yang tidak menggunakan *geoisolator*. Para pengembang teknologi terus meneliti dan mengembangkan mesin panen garam yang berdasarkan prinsip teknis lokal dan pemberdayaan masyarakat. Salah satunya berupa mesin panen garam yang didesain menggunakan sistem *blade dozer* dan *conveyor* [4]. Mesin tersebut dilengkapi karung penampung berkapasitas 25 kg garam. Penggerak mula berupa motor bensin 100 cc. Beberapa mesin panen garam juga telah diproduksi oleh para pengembang teknologi. Namun kebanyakan desain dari mesin panen garam tersebut belum mengakomodir kemampuan menghindari kerusakan pada *geoisolator*. Salah satunya adalah mesin pengerik garam [5]. Mesin pengerik garam difungsikan untuk memecah tumpukan garam di ladang garam. Mekanisme pemecahan tumpukan menggunakan sikat yang mampu memecah tumpukan garam hingga kedalaman 50 mm. Namun demikian, pengerik tersebut berbahan sikat keras yang tidak dapat dipastikan sifat pengrusakan pada *geoisolator*. Mesin panen garam juga tersedia skala besar [6] yang terdiri dari sebuah pemanen (*harvester*) yang ditarik oleh traktor dan dilengkapi dengan *drawbar*. Pemanen itu sendiri terdiri dari pemisah (*splitting*), pengoleksi dan bagian pengereman, yang dipasang secara *pivot* pada suatu rangka. Ukuran yang besar dari mesin panen garam ini tidak cocok jika dipakai di ladang garam dengan alas *geoisolator* karena beratnya.

Terdapat desain mesin panen garam komersial yang secara umum berukuran besar [7-8]. Mesin panen garam tersebut bervariasi pada roda penggerakannya. Roda penggerak yang digunakan diantaranya adalah roda tank, roda karet, dan roda silinder. Namun aplikasi mesin panen garam tersebut pada ladang garam yang dikeraskan menggunakan campuran semen.

Untuk dapat menyelesaikan masalah panen garam dengan sekop dan desain mesin panen garam yang adaptif terhadap profil meja garam yang menggunakan *geoisolator*, maka perlu pengembangan desain mesin panen garam. Secara umum, desain mesin panen garam yang telah diaplikasikan memiliki ukuran besar dan berat. Disamping itu desain roda yang memberikan efek gaya tekan pada ladang garam besar. Kedua faktor tersebut menjadi kendala bagi aplikasi mesin panen garam yang memiliki lapisan *geomembrane* atau *geoisolator*. Saat ini, riset di bidang desain mesin panen garam yang adaptif terhadap ladang garam yang dilapisi *geoisolator* masih sangat terbatas. Desain mesin dengan batasan besarnya tekanan atau gaya tekan roda ke *geoisolator* pada ladang garam belum terjelaskan.

Untuk itu, konsep desain mesin panen garam dikemukakan dan dievaluasi. Kriteria utama dalam desain mesin panen garam ini adalah bahwa mesin mampu memecah tumpukan garam dan tidak merusak *geoisolator*. Metode pemodelan fungsi dan rekayasa konsep digunakan dalam fase mengonsep desain mesin panen garam ini. Salah satu faktor kritis yang ditetapkan adalah desain roda yang memberikan gaya tekan minimum pada *geoisolator*, yang belum terjelaskan pada desain mesin panen garam yang ada saat ini.

2. Material dan metodologi

Pengembangan konsep mesin panen garam merujuk pada model Pahl dan Beitz [9]. Metode ini terdiri dari beberapa tahapan yang dapat dilihat pada Gambar 1. Tahapan awal adalah dekomposisi fungsi, yang berupa pemilahan aspek dari suatu sistem permesinan atau sub-sistemnya. Tahap berikutnya adalah penyusunan tabel morfologi, yang dilakukan dengan cara menuliskan berbagai kemungkinan konsep mesin atau mekanisme. Kemudian konsep mesin tersebut dievaluasi dan diputuskan kelayakannya. Sebanyak mungkin alternatif yang memenuhi spesifikasi teknis khusus disajikan. Kemudian alternatif tersebut dievaluasi.



Gambar 1. Tahapan konsep desain mesin

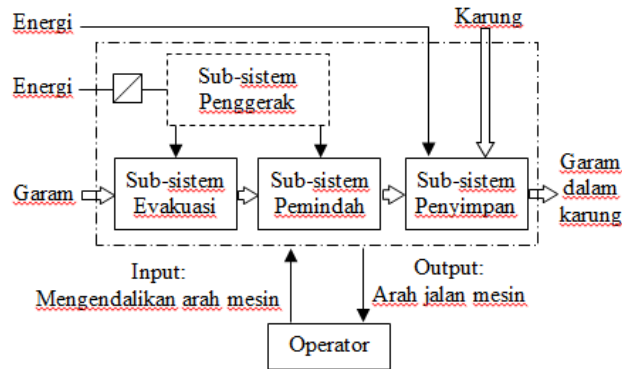
Tabel morfologi adalah suatu tabel atau matriks yang berisi aspek dari suatu permesinan. Aspek tersebut berupa bentuk fisik dan fungsi. Permesinan dapat dipandang sebagai suatu sistem yang terdiri dari sub-sistem dengan sub-fungsinya. Tabel tersebut merupakan sarana kreatifitas dan metode penyelesaian terstruktur. Berbagai aspek dapat ditulis dalam tabel tersebut. Kemudian pemilihan kombinasi aspek tersebut dilakukan untuk membentuk suatu sistem permesinan yang merupakan penyelesaian dari kebutuhan, kriteria, atau syarat yang harus dipenuhi [10]. Tabel morfologi tersebut tidak hanya untuk menyelesaikan permasalahan permesinan tetapi juga dapat untuk permasalahan manajemen atau bidang lain [11-12]. Disamping itu, tabel morfologi juga dapat digunakan sebagai alat untuk tahapan awal proses menemukan cara atau proses dalam kegiatan penelitian [13].

Evaluasi merupakan aktivitas membandingkan konsep mesin dan mengambil keputusan. Konsep mesin didasarkan pada kombinasi sub-sistem mesin yang diturunkan dari morfologi fungsi. Proses membandingkan konsep mesin harus dilakukan pada tingkat atau kriteria yang sama. Dalam proses evaluasi, semua informasi atau spesifikasi yang melekat pada sistem atau sub-sistem dituliskan dalam tabel. Kemudian spesifikasi setiap sub-sistem tersebut diperbandingkan dalam kriteria dengan tingkat yang sama. Perbandingan konsep sub-sistem atau sistem terpilih didasarkan pada kemampuan sub-sistem atau sistem dalam memenuhi syarat atau kriteria yang ditetapkan.

3. Hasil dan pembahasan

3.1 Dekomposisi Fungsi

Suatu sistem permesinan memiliki dua aspek yaitu bentuk dan fungsi. Bentuk dalam permesinan berupa suatu mekanisme yang memiliki fungsi masing-masing. Mekanisme dibagi menjadi komponen-komponen yang mendukung fungsi mekanisme. Dekomposisi fungsi mesin pemanen garam digambarkan dalam suatu diagram blok [14], seperti tersaji pada Gambar 2, dengan aliran energi dan konversinya, aliran bahan, dan proses. Gambar 2 menunjukkan bahwa mesin pemanen garam terdiri dari 6 fungsi yaitu: (1) memecah tumpukan garam, (2) mengarahkan dan mengumpulkan garam ke bagian pengangkutan, (3) mengangkut garam menuju corong pengisian karung, (4) mengisi karung, (5) menggerakkan laju mesin, dan (6) mengendalikan mesin. Dari dekomposisi fungsi ini, suatu tabel morfologi dibuat. Pada tahap pengisian tabel morfologi, setiap fungsi tersebut diberi pilihan sub-sistem.



Gambar 2. Dekomposisi fungsi dari mesin panen garam

Tabel morfologi dibuat berdasarkan dekomposisi fungsi, dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1. Setiap fungsi dilekatkan beberapa pilihan sub-sistem. Fungsi menggerakkan laju mesin dibagi menjadi 3 sub-bagian yaitu penggerak mula, transmisi daya, dan model tapak roda. Beberapa konsep kombinasi sub-sistem yang membentuk suatu sistem panen garam ditetapkan. Pemilihan tersebut mempertimbangkan konsep tersebut sudah *well-proven* dan kemungkinan konsep tersebut dapat dipabrikasi. Kemudian, konsep-konsep tersebut diperbandingkan dan dievaluasi kelayakannya.

3.2 Kelayakan Konsep Mesin

Kelayakan konsep mesin merupakan tahap awal dalam mengevaluasi konsep. Pada tahap ini, konsep mesin dibangun dari pilihan kombinasi sub-sistem, kemudian setiap konsep mesin dibandingkan dengan batasan kriteria yang telah ditetapkan.

Tabel 1. Morfologi mesin panen garam

No.	Fungsi/Sub-fungsi Konsep	1	2	3
Sub-Sistem Evakuasi				
A.	Memecah tumpukan garam	Jangkar fleksibel	<i>Blade</i> fleksibel	Skrup flekibel
B.	Mengarahkan dan mengumpulkan garam ke bagian pengangkutan	Skrup flekibel	<i>Diverter</i>	<i>Dozer</i>
C.	Mengangkut garam menuju corong pengisian karung	<i>Screw conveyor</i>	<i>Belt conveyor</i>	<i>Bucket conveyor</i>
Sub-Sistem Penyimpanan				
D.	Memegang karung	Ring+penjepit	<i>Ring</i> +baji pengait	<i>Ring</i>
E.	Mengisi karung	<i>Hoper</i>	-	-
Sub-Sistem Penggerak				
F.	Penggerak mula	Motor bensin	Motor diesel	Motor listrik
G.	Transmisi daya	<i>Pulley-belt</i>	Pasangan roda gigi	Rantai-sproket
H.	Menggerakkan laju mesin	Roda karet	Roda silinder karet	Roda tank
Pengendalian arah jalan mesin				
I.	Mengendalikan mesin	<i>2 hands-grip</i>	Pemegang memanjang	-

Alternatif Konsep desain mesin ditentukan berdasarkan sumbang saran dari anggota tim. Sumbang saran menghasilkan 4 konsep desain mesin, yang dinotasikan dengan K1, K2, K3, dan K4. Setiap konsep terdiri dari kombinasi sub-sistem seperti tersaji pada Tabel 2.

Tabel 2. Alternatif konsep mesin panen garam

Desain Alternatif	Alternatif	A	B	C	D	E	F	G	H	I
K1	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	2								<input type="checkbox"/>	
	3									
K2	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	2								<input type="checkbox"/>	
	3						<input type="checkbox"/>			
K3	1	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>				
	2		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	3						<input type="checkbox"/>			
K4	1					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	2			<input type="checkbox"/>					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>					

3.3 Tahap Skrining (*Screening*)

Teknologi yang dituliskan dalam pilihan sub-sistem merupakan teknologi yang telah mapan atau *well-proven*, sehingga evaluasi terhadap konsep mesin berupa kemampuan mesin yang dinilai untuk dapat memenuhi kriteria kebutuhan pengguna. Tabel penilaian mesin dapat dilihat pada Tabel 3. Penetapan kriteria dilakukan dengan cara sumbang saran dari calon pengguna. Kriteria yang ditetapkan dalam konsep mesin panen garam ini adalah:

- a. Kapasitas mesin adalah 25 kg per satu kali evakuasi.
- b. Mesin kaku atau *rigid*.
- c. Ergonomis (mudah dioperasikan dan dikendalikan).
- d. Tidak menimbulkan kontaminasi pada garam.
- e. Getaran mesin tidak besar agar tidak getar di tangan operator.
- f. Bahan struktur mesin tidak mudah korosi.
- g. Secara keseluruhan, harga mesin murah.
- h. Perawatan mudah dan spare-part murah.

3.4 Keputusan Pemilihan Konsep Mesin

Pengambilan keputusan pemilihan konsep mesin didasarkan pada metode Pugh. Metode ini membandingkan setiap konsep mesin dengan cara memberikan penilaian pada setiap konsep mesin. Penilaian berupa pemberian bobot angka pemenuhan kriteria yang dikenakan pada setiap konsep mesin.

Tabel 3. Skrining konsep mesin panen garam

No.	Kebutuhan Konsumen	K1		K2		K3		K4	
		Go	No	Go	No	Go	No	Go	No
1.	Kapasitas 25 kg/batch	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
2.	Kaku (Rigid)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
3.	Ergonomis (mudah dioperasikan dan	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	

	dikendalikan)				
4.	Non-Polutan	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.	Getaran kecil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.	Tidak mudah korosi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.	Mesin murah	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.	Perawatan mudah, Sparepart murah	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Metode ini dilakukan dengan tahapan:

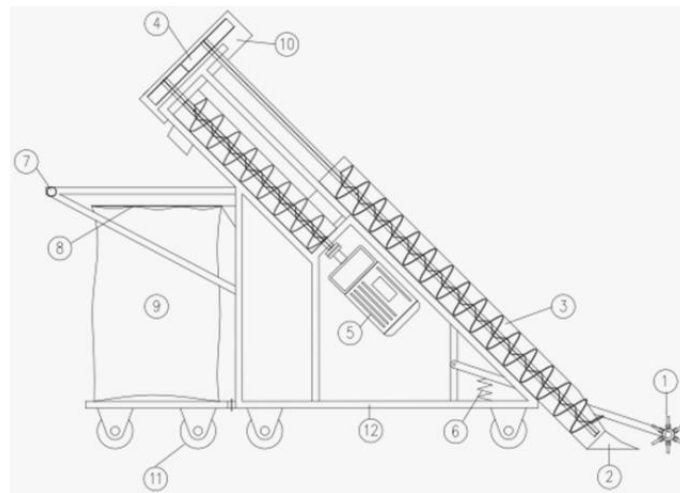
- (i) penetapan kriteria untuk membandingkan setiap konsep mesin,
- (ii) pemberian bobot pada setiap kriteria,
- (iii) pemilihan salah satu konsep mesin yang dianggap terbaik, dan dijadikan sebagai dasar pembanding atau *datum*,
- (iv) pemilihan konsep mesin,
- (v) perhitungan nilai akhir,

Konsep mesin panen garam yang terpilih telah dievaluasi berdasarkan proses evaluasi konsep mesin yang dilakukan dengan tahapan dekomposisi fungsi, tabel morfologi, evaluasi kelayakan, dan screening. Selanjutnya keputusan pemilihan konsep mesin didasarkan pada kriteria spesifik yang telah didiskusikan dengan pengguna. Kriteria tersebut meliputi:

- a. Kapasitas mesin adalah 25 kg per satu kali evakuasi.
- b. Berat mesin yang ditopang oleh ladang garam tidak lebih dari 30 kg, agar tidak merusak *geoisolator*.
- c. Konstruksi mesin terbuat dari bahan tahan korosi.
- d. Penggerak mesin dilakukan oleh motor.
- e. Pengendalian mesin dilakukan oleh operator.

Konsep mesin pemanen garam terdiri dari dua bagian utama yaitu bagian evakuasi garam dan bagian penyimpanan garam, yang sebagian besar dipabrikasi dengan bahan *stainless steel*. Konsep desain mesin panen garam tersaji pada Gambar 3. Secara keseluruhan, bagian-bagian mesin dan fungsinya adalah sebagai berikut:

- a. Bagian penggerak, terdiri dari motor bensin yang dikopel dengan genset, dengan transmisi roda gigi.
- b. Bagian tapak mesin, berupa roda silindris berbahan karet
- c. Bagian pemecah, berupa *open screw conveyor* dengan kemiringan daun *screw* mengarah ke bagian pengangkut.
- d. Bagian pengangkut, berupa *screw conveyor* dengan kemiringan 45° .
- e. Bagian pengisi dan penyimpanan garam, terdiri dari corong pengisi dan ring pengait karung.
- f. Bagian pengendali, berupa tangkai ergonomis yang berhubungan dengan tangan pengguna atau operator.



Gambar 3. Konsep desain mesin panen garam

1. pemecah garam, 2. pengarah, 3. screw conveyor, 4. roda gigi, 5. genset dan motor listrik, 6. pegas tarik
7. tangkai pemegang, 8. ring pemegang karung, 9. karung, 10. chute masukan, 11. roda silinder karet

Konsep mesin panen garam, yang adaptif terhadap meja garam yang menggunakan geisolator perlu dibuat prototype yang juga merupakan tahapan pengembangan produk yang memperhatikan skala, integrasi setiap bagian, dan embodiment [15].

Kesimpulan

Konsep mesin panen garam, yang adaptif terhadap meja garam yang menggunakan geisolator, telah ditetapkan. Selanjutnya, konsep ini perlu dibuat prototipe virtual dan diuji atau divalidasi lebih lanjut pada seluruh fungsi sub-sistem yang mendukung sistem keseluruhan dan memenuhi kriteria desain.

Ucapan terima kasih

Terima kasih disampaikan kepada Balai Industri Logam dan Kayu Disperindag Jateng yang telah berkolaborasi dengan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro dalam kegiatan pengembangan teknologi tepat guna, khususnya pengembangan mesin panen garam yang dapat dioperasikan pada lading garam yang dilapisi *geisolator*.,

Daftar Pustaka

- [1] Heru Susanto, Nur Rokhati, Gunawan W. Santosa, Development of Traditional Salt Production Process For Improving Product Quantity and Quality in Jepara District, Central Java, Indonesia, *Procedia Environmental Sciences* 23, ScienceDirect 2015: p.175.
- [2] Desa Lengkong. Petani tambak memanen garam di meja garam yang alasnya memakai geisolator di Desa Lengkong Batangan. Lengkong, 10 September 2021. Tersedia pada laman: <http://lengkong-batangan.desa.id/2021/09/10/petani-tambak-memanen-garam-di-meja-garam-yang-alasnya-memakai-geisolator-di-desa-lengkong-batangan/>. (Diakses pada tanggal 4 Februari 2022).
- [3] Pemerintah Kabupaten Pati. Alat ciptaan posyantek mina tani wedarijksa ini jadi buruan kementerian desa. Admin-Prokompim, 13 April 2018. Tersedia pada laman: <https://www.patikab.go.id/v2/id/2018/04/13/alat-ciptaan-posyantek-mina-tani-wedarijksa-ini-j/>. (Diakses pada tanggal 4 Februari 2022).
- [4] Uliyah L., Rama D., Jakfar A., Perancangan Alat Pengeruk Garam Menggunakan Sistem Blade Dozer dan

Conveyor, Machine; Jurnal Teknik Mesin, 2021 April, 7(1): p.1

- [5] Meri Rahmi, Dedi Suwandi, Badruzzaman, Agus Sifa, Rancang Bangun Alat Pengerik Garam Dengan Sistem Roda Gigi di Kabupaten Indramayu. Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA); 2018
- [6] US Patent no. US3306419A
- [7] Wirtgen. Salt harvesting with 2 m milling machines in Australia and Turkey. Job Report Surface Mining. Australia: Wirtgen Mining. 2005.
- [8] K, Kathryn. Gqeberha engineer Heinrich Gerber builds a salt harvesting machine, 20 Oktober 2022. Tersedia pada laman: <https://www.businesslive.co.za/fm/fm-fox/entrepreneurs/2022-10-20-gqeberha-engineer-heinrich-gerber-builds-a-salt-harvesting-machine/> . (Diakses pada tanggal 4 Februari 2022).
- [9] G. Pal, W. Beitz, J. Feldhusen, and K. H. Grote, Engineering design: A systematic approach. 3rd edition. London: Springer; 2007.
- [10] S. M. Smith, T. B. Ward, and R. A. Finke, Cognitive Processes in Creative Contexts, Creat Cogn. Approach 1995
- [11] R. A. Perdana, Design of Sand Sieving Machine to Increase Operator Work Productivity, Jurnal Teknik Waktu 2015
- [12] J. Ölvader, B. Lundén, and H. Gavel. A computerized optimization framework for the morphological matrix applied to aircraft conceptual design. CAD Compute.Aided Des 2009
- [13] A. Álvarez, T. Ritchey, Applications of general morphological analysis, Acta Morphol. Gen 2015
- [14] A. Kusiak, N. Larson, Decomposition and Representation Methods in Mechanical Design, Transactions of the ASME, June 1995.
- [15] L. S. Jensen, A. G. Özkil and N. H. Mortensen, Prototypes In Engineering Design: Definition and Strategies.