

MODEL MATEMATIK LAJU PENGUAPAN AIR LAUT DENGAN PROSES EVAPORASI MENGGUNAKAN METODE POLYNOMIAL

Indah Dwi Wahyuningsih*, Silviya Nur Ridha, Srie Muljani

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Sains

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Jl. Raya Rungkut Madya No. 1, Gunung Anyar, Surabaya 60294.

*Email: 20031010002@student.upnjatim.ac.id

Abstrak

Rendahnya produksi garam yang diperoleh dapat disebabkan kemarau basah yang membuat panen produksi garam tidak maksimal dan pemanfaatan teknologi garam yang belum merata. Banyaknya masyarakat memproduksi garam menggunakan cara tradisional yang hanya memanfaatkan panas matahari dan kincir angin. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui hubungan antara laju penguapan sebagai variabel dependen dengan jumlah nozzle, salinitas, debit, waktu evaporasi, dan luas nozzle sebagai variabel independen dengan pendekatan model matematik metode polynomial. Dalam penelitian ini, peneliti memanfaatkan matahari dengan bantuan teknologi spray untuk mempercepat proses evaporasi air laut untuk menghasilkan garam. Kemudian menyusun model matematik laju penguapan air laut menggunakan metode polynomial dengan variasi jumlah spray dan aliran debit yang nantinya dapat mengetahui kecepatan angka evaporasinya. Hasil optimasi variasi jumlah spray dan aliran debit mendapatkan bahwa penguapan air laut yang optimal pada debit 1403763,4955 cm³/jam dengan variasi jumlah spray 3;5;7 dan debit 1615348,1843 cm³/jam dengan variasi spray 3 dan 7 karena hasil yang di dapat menunjukkan persen kesalahan tidak melebihi 10 %.

Kata kunci: Air laut, garam, evaporasi, model matematik, teknologi spray

Abstrak

The low salt production obtained can be attributed to irregular rainfall patterns, which affect the effectiveness of salt harvests, and uneven utilization of salt production technology. Many producers rely on traditional methods, utilizing only solar heat and windmills. This study aims to explore the relationship between evaporation rate as the dependent variable and nozzle count, salinity, flow rate, evaporation time, and nozzle area as independent variables using a polynomial mathematical model approach. In this research, solar energy is harnessed with the aid of spray technology to accelerate the seawater evaporation process for salt production. A polynomial mathematical model of seawater evaporation rate is developed with variations in spray quantity and flow rate to determine the evaporation rate. The optimization results for varying spray quantities and flow rates indicate that optimal seawater evaporation occurs at a flow rate of 1,403,763.4955 cm³/hour with spray quantities of 3, 5, and 7, and at a flow rate of 1,615,348.1843 cm³/hour with spray quantities of 3 and 7, as these results show an error percentage not exceeding 10%.

Keywords: Seawater, salt, evaporation, mathematical model, spray technology

1. PENDAHULUAN

Negara Indonesia sering disebut dengan negara maritim, karena 70% bagian Indonesia merupakan lautan sedangkan 30% bagian Indonesia daratan. Potensi ini dapat dimanfaatkan salah satunya untuk produksi garam. Garam secara umum didapatkan dari air laut. Proses produksi garam konvensional oleh petani tambak garam dengan cara evaporasi air laut, yang berada di Indonesia mampu menghasilkan garam NaCl dengan kadar 85%-95%. Rendahnya produksi garam yang di peroleh dapat disebabkan oleh musim kemarau basah yang membuat produksi garam tidak

optimal serta pemanfaatan teknologi yang belum merata. Hal tersebut membuat produksi garam di Indonesia belum memenuhi target jika di bandingkan dengan kebutuhan konsumsi garam di Indonesia yang akan selalu meningkat seiring dengan peningkatan permintaan impor garam.

Garam salah satu pelengkap untuk pangan dan sumber elektrolit bagi tubuh dimana dapat dijadikan sebagai bahan kebutuhan pokok dalam masyarakat. Menurut keputusan menteri perindustrian dan perdagangan No. 15/MPP/KEP/2/1998 secara fisik garam berbentuk padatan kristal, berwarna putih yang

mengandung bagian senyawa terbanyak NaCl >80% dan diikuti dengan senyawa lain seperti magnesium klorida, magnesium sulfat, kalsium klorida dan lain sebagainya. Saat ini banyak masyarakat dalam memproduksi garam masih menggunakan cara tradisional dengan memanfaatkan panas matahari yang dilakukan di tambak garam menggunakan air laut dengan bantuan kincir angin, tetapi dalam proses ini memerlukan waktu lama dalam proses pemekatan. Produksi suatu garam dapat dilakukan dengan metode evaporasi menggunakan teknologi spray. Teknologi ini dapat mempercepat penguapan kadar air laut jika dibandingkan dengan cara tradisional sehingga mendapatkan derajat Baume ($^{\circ}\text{Be}$) yang tinggi.

Penggunaan model matematik metode polynomial dilakukan untuk membandingkan metode yang paling tepat untuk pendugaan terjadinya evaporasi dibandingkan dengan metode lain dengan variabel independen yang juga mempengaruhi. Untuk membuktikan kebenaran bahwa variabel-variabel independen dapat memberikan semua informasi yang dibutuhkan untuk memprediksi variabel dependen maka dapat dilihat pada koefisien determinasi yang diperoleh pada model matematik pendugaan evaporasi. Beberapa penelitian yang telah menggunakan metode yang berbeda untuk menyusun persamaan model matematik dalam evaporasi air laut. Penggunaan metode regresi eksponensial didapatkan koefisien kolerasi sebesar 0,214 dan koefisien determinasi sebesar 0,045 dengan variabel independen yang digunakan yaitu sinar matahari, kecepatan angin, dan kelembapan udara (Udayanti, 2019). Pada penggunaan metode regresi linier berganda didapatkan koefisien korelasi sebesar 0,86 dan koefisien determinasi sebesar 0,7396 dengan variabel independen suhu udara (Jesiani, Apriansyah and Adriat, 2019). Sedangkan, pada penggunaan model Priestley didapatkan koefisien korelasi sebesar 0,989 dan koefisien determinasi sebesar 0,98 dengan variabel independen radiasi matahari, suhu udara, kelembapan, tekana udara, dan angina (Ahmad Fausan et al., 2021).

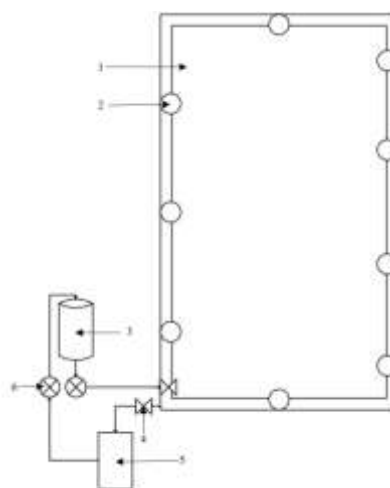
Berdasarkan penelitian terdahulu yang telah disebutkan di atas maka dilakukan penelitian model matematik laju pengupan air laut dengan proses evaporasi menggunakan metode polynomial dengan variasi jumlah spray dan aliran debit untuk mendapatkan model

matematik pendugaan terjadinya evaporasi dan dapat diketahui hubungan antara laju penguapan sebagai variabel dependen dengan jumlah noozle, salinitas, debit, waktu evaporasi, dan luas noozle sebagai variabel independen.

2. METODOLOGI

2.1 Bahan dan alat

Bahan dalam penelitian ini menggunakan air garam 2,5% yang dibuat menyerupai air laut. Dengan karakteristik yang sama yaitu secara fisik merupakan benda padatan berwarna putih berbentuk kristal yang merupakan kumpulan senyawa dengan bagian terbesar Natrium klorida. Adapun alat yang di gunakan adalah baumemeter, thermometer air raksa, thermometer hygrometer, anemometer dan rangkaian alat evaporasi air laut



Gambar 1. Rangkaian Alat Evaporasi Air Laut

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa (1) Kolam Evaporasi, (2) Spray, (3) Tangki penampung, (4) Valve, (5) Bak penampung sementara, dan (6) Pompa

2.2 Prosedur evaporasi air laut

Air laut dengan kadar 2.5% ditampung ke dalam tangki penampung. Proses evaporasi air laut dilakukan hingga 3 kali dengan variasi debit sebesar 1403763,4955 cm³/jam, 1615348,1843 cm³/jam dan 1777891,3439 cm³/jam. Masing-masing variasi debit tersebut menggunakan variabel jumlah spray sebanyak 3, 5, 7 dan 9. Proses penguapan ini dilakukan menggunakan pompa dengan memompa air laut dari tangki penampung menuju rangkaian alat teknologi spray yang telah di rancang dengan kondisi variabel jumlah spray dan debit yang sudah ditentukan. Lahan kolam evaporasi

menggunakan ukuran 15×7 meter. Setelah air di spray, air garam yang tidak terevaporasi akan di alirkan ke bak penampungan sementara. Setelah itu cek kadar dan debit dalam tiap jangka waktu 2 jam menggunakan baume meter. kemudian air garam di pompa kembali ke dalam tangki penampung. Proses ini dilakukan hingga derajat Be mencapai 24%. Catat waktu yang didapat setelah kadar air laut mencapai 24%.

2.3 Model Matematik Laju Penguapan

Bentuk dasar persamaan untuk memperoleh model matematis evaporasi dapat menggunakan metode polynomial orde dua. Maka persamaannya yaitu:

$$Y = ax^2 + bx + c \dots \dots \dots (1)$$

Dimana nilai y merupakan laju penguapan air laut dan nilai X diperoleh dengan mempelajari pengaruh debit air laut (Q), jumlah spray, luas nozzle (A_n), waktu evaporasi (t) dan derajat Be terhadap laju evaporasi air laut. Dengan mempertimbangkan parameter-parameter yang berpengaruh pada laju evaporasi air laut, maka nilai X yang digunakan sebagai berikut:

$$X = \frac{Q \cdot N}{A_n \cdot t \cdot Be} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

x= variabel

Q= Debit air (cm³/jam)

N= Jumlah Spray

A_n = Luas Nozzel (mm²)

t= Waktu evaporasi (jam)

Be= Kenaikan kadar garam (%)

Rumus untuk menghitung persen kesalahan sebagai berikut:

$$\% \text{Kesalahan} = \{(Y_{\text{model}} - Y_{\text{data}}) / Y_{\text{model}}\} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

Pengujian model dilakukan dengan melakukan perhitungan terhadap seberapa besar tingkat kesalahan model matematis yang didapat terhadap data awal. Hasil persen kesalahan yang diperbolehkan < dari 10%, Persen kesalahan yang melebihi 10% dapat disebabkan oleh beberapa faktor yang terjadi di lapangan. (Muljani, Sumada and Pujiastuti, 2021).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju penguapan air laut dengan variasi debit sebesar 1403763,4955 cm³/jam, 1615348,1843 cm³/jam dan 1777891,3439 cm³/jam. Masing-masing variasi debit tersebut menggunakan variabel jumlah spray sebanyak 3, 5, 7 dan 9 disajikan pada table 1, 2, 3, dan 4.

Tabel 1. Nilai Laju Penguapan Eksperimen pada Debit 1403763,4955 cm³/jam

Waktu evaporasi (Jam)	Laju Penguapan Data Eksperimen(cm ³ /jam)			
	Spray 3	Spray 5	Spray 7	Spray 9
2	71428,5	42857,1	30612,2	31250
4	26785,7	16071,4	11479,5	10016
6	11904,7	7142,8	5102,04	2967,3
8	4960,3	3524,4	2517,4	1446,7
10	3019,3	1644,7	1174,8	694,4
12	1617,4	1041,6	840	437,9
14	966,2	595,2	454,7	368,6
16	623	372	367,1	-
18	424,9	248	-	-
20	302,8	-	-	-

Tabel 2. Nilai Laju Penguapan Eksperimen pada Debit 1615348,1843 cm³/jam

Waktu evaporasi (Jam)	Laju Penguapan Data Eksperimen(cm ³ /jam)			
	Spray 3	Spray 5	Spray 7	Spray 9
2	93750	66666,6	53571,4	45454,5
4	21306,8	12820,5	8928,5	6684,4
6	8116,8	5341,8	3401,3	2382,8
8	4960,3	2604,1	1417,2	1085
10	2525,2	1250	816,9	520,8
12	2029,2	694,4	448,3	289,3
14	1125,4	425,1	272,2	-
16	784,6	279	-	-
18	494	-	-	-

Tabel 3. Nilai Laju Penguapan Eksperimen pada Debit 1777891,3439 cm³/jam

Waktu evaporasi (Jam)	Laju Penguapan Data Eksperimen(cm ³ /jam)			
	Spray 3	Spray 5	Spray 7	Spray 9
2	93750	42857,1	40178,	37037
4	26041,6	16071,4	11160,7	11574
6	8680,5	9375	4960,3	2572
8	3906,2	3196	2289,3	1042,7
10	2884,6	1818,1	1144,6	516,1
12	1502,4	877,1	620	-
14	1116	587,4	-	-
16	651	-	-	-

Data yang didapatkan tersebut telah sesuai dengan teori yang ada hal ini dikarenakan semakin banyak jumlah spray maka semakin banyak air laut yang tersebar di kolam evaporasi, sehingga semakin banyak air laut yang mengalami penguapan dengan waktu yang lebih singkat. Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Muljani, Sumada dan Pujiastuti pada tahun 2021 menyatakan bahwa jumlah spray yang terpasang akan berpengaruh terhadap laju evaporasi air laut, semakin banyak jumlah spray yang terpasang maka volume air laut yang terspraykan akan semakin besar dan waktu proses penguapannya semakin cepat.

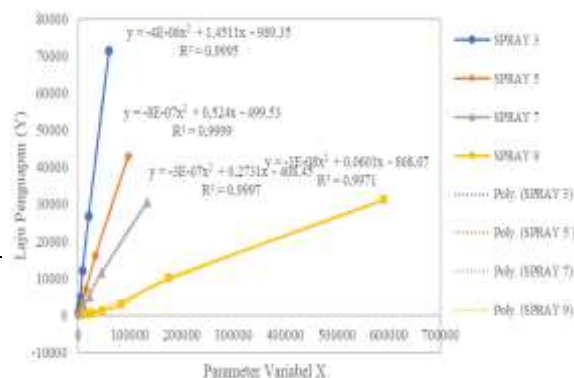
Debit berpengaruh pada laju penguapan, dimana semakin besar debit air laut maka kecepatan penguapan akan semakin tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh Oktaviansyah (2021) menunjukkan bahwa debit air laut sangat berpengaruh dalam proses penguapan air laut. Hal ini dikarenakan semakin besar aliran air laut yang keluar dari nozzle menyebabkan luas kontak antara air laut dengan udara dan panas matahari akan semakin besar dan menyebabkan jumlah air yang teruapkan semakin besar.

3.1 Uji Persamaan Model Matematik

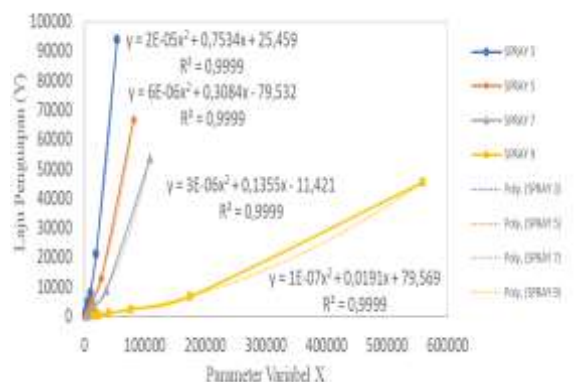
Penelitian dilakukan dengan mengukur laju penguapan sebagai variabel terikat yang didapatkan dari pembagian hasil volume yang menguap dengan waktu evaporasi, kemudian membagi dengan jumlah nozzle yang digunakan. Siklus dilakukan setiap 2 jam

sampai derajat Be air laut mencapai 24%. Untuk menghitung variabel bebas dilakukan dengan mengkorelasikan parameter-parameter yang dapat mempengaruhi laju penguapan yaitu jumlah nozzle (N); Sanilitas (Be); Debit (Q); Waktu Evaporasi (t) dan luas nozzle (An). Nilai variabel X didapatkan dari persamaan berikut:

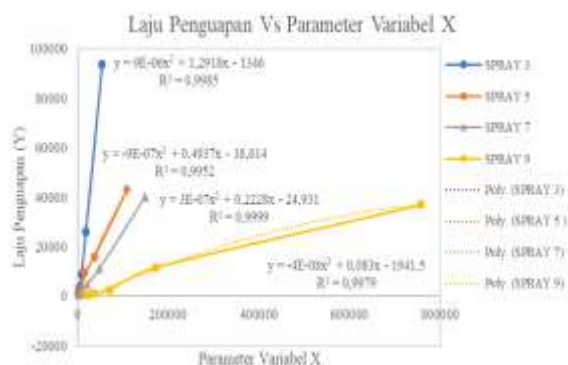
$$X = \frac{Q \cdot N}{An \cdot t \cdot Be} \dots \dots \dots (4)$$



Gambar 1. Hubungan Antara Laju penguapan dengan Variabel Bebas terhadap variasi spray pada debit 1403763,4955 cm³/jam



Gambar 2. Hubungan Antara Laju penguapan dengan Variabel Bebas terhadap variasi spray pada debit 1615348,1843 cm³/jam



Gambar 3. Hubungan Antara Laju penguapan dengan Variabel Bebas terhadap variasi spray pada debit 1777891,3439 cm3/jam

Pada gambar 1, 2 dan 3 Kurva pada grafik IV.4, grafik IV.5 dan grafik IV.6 merupakan kolerasi antara laju penguapan terhadap parameter yang digunakan. Fungsi dari kurva tersebut adalah untuk memperoleh model matematis yang sesuai dengan data yang telah diperoleh. Grafik yang digunakan adalah regresi polinomial orde 2. Pada debit 1403763,4955 cm3/jam persamaan yang didapatkan pada spray 3 yaitu $y = -4E-06x^2 + 1,4511x - 989,35$ dengan koefisien determinasi sebesar 0,9995. Pada spray 5 yaitu $y = -8E-07x^2 + 0,524x - 499,53$ dengan koefisien determinasi sebesar 0,9999. Pada spray 7 yaitu $y = -3E-07x^2 + 0,2731x - 408,4553$ dengan koefisien determinasi sebesar 0,9997. Pada spray 9 yaitu $y = -3E-07x^2 + 0,2731x - 408,45$ dengan koefisien determinasi sebesar 0,9997. Sedangkan pada debit 1615348,1843 cm3/jam persamaan yang didapatkan pada spray 3 yaitu $y = -4E-06x^2 + 1,4511x - 989,35$ dengan koefisien determinasi sebesar 0,9995. Pada spray 5 yaitu $y = -8E-07x^2 + 0,524x - 499,53$ dengan koefisien determinasi sebesar 0,9999. Pada spray 7 yaitu $y = -3E-07x^2 + 0,2731x - 408,4553$ dengan koefisien determinasi sebesar 0,9997. Pada spray 9 yaitu $y = -5E-09x^2 + 0,0747x - 1407,4$ dengan koefisien determinasi sebesar 0,9964 dan pada debit 1777891,3439 cm3/jam persamaan yang didapatkan pada spray 3 yaitu $y = 9E-06x^2 + 1,2918x - 1346$ dengan koefisien determinasi sebesar 0,9985. Pada spray 5 yaitu $y = -9E-07x^2 + 0,4937x - 38,614$ dengan koefisien determinasi sebesar 0,9952. Pada spray 7 yaitu $y = 3E-07x^2 + 0,2228x - 24,931$ dengan koefisien determinasi sebesar 0,9999. Pada spray 9 yaitu $y = -4E-08x^2$

+ 0,083x - 1941,5 dengan koefisien determinasi sebesar 0,9979.

3.2 Persen Kesalahan Model Matematik

Dalam penelitian ini menggunakan variabel debit 1403763,4955 cm3/jam; 1615348,1843 cm3/jam; dan 1777891,3439 cm3/jam dan pada setiap variabel dijalankan dengan variasi spray yaitu 3, 5, 7 dan 9. Persamaan yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai pendugaan Y model matematik. Dengan mensubstitusikan nilai X ke persamaan tersebut maka dapat diperoleh nilai pendugaan Y model matematik. Setelah diperoleh model matematik dilakukan pengujian model dengan melakukan perhitungan persen kesalahan terhadap data awal. Persen kesalahan yang diperoleh pada debit 1403763,4955 cm3/jam dengan variasi spray 9 menunjukkan hasil lebih dari 10%; pada debit 1615348,1843 cm3/jam dengan variasi spray 5 dan 9 menunjukkan hasil lebih dari 10%; dan pada debit 1777891,3439 cm3/jam dengan variasi spray 3, spray 5, spray 7 dan spray 9 menunjukkan hasil lebih dari 10%. Persen kesalahan yang melebihi 10% dapat disebabkan oleh beberapa faktor yang terjadi di lapangan.

4. KESIMPULAN

Persamaan model matematik berdasarkan parameter yang digunakan, didapatkan persamaan variabel bebas yaitu $x = \frac{Q \cdot N}{An \cdot t \cdot Be}$. Persamaan model matematik menggunakan polynomial orde dua.

Persamaan model matematik yang dapat diterapkan yaitu pada debit 1403763,4955 cm3/jam dengan variasi spray 3;5;7, dan pada debit 1615348,1843 cm3/jam dengan variasi spray 3 dan 7, karena hasil menunjukkan persen kesalahan tidak lebih dari 10%.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriani, (2020), Pemanfaatan Air Laut Sebagai Sumber Cadangan Energi Listrik. Jurnal Vertex Elektro, 12(02), pp. 22–33.
- Ahmad Fausan *et al*, (2021), Analisa Model Evaporasi dan Evapotranspirasi Menggunakan Pemodelan Matematika pada Visual Basic di Kabupaten Maros. Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, 5(3), pp. 179–196.
- Rachmawati, F., (2020), Model Temperatur Untuk Pendugaan Evaporasi Pada Stasiun Klimatologi Barongan Bantul. Gastronomía

- ecuatoriana y turismo local., 1(69), pp. 5–24.
- Firdausi, E.N.R.I. *et al.*, (2021), Kajian Proses Penguapan Air Laut Pada Evaporator dengan Counter Current Sprayer. *ChemPro*, 2(02), pp. 57–62.
- Firmansyah, M., Qiram, I. and Rubiono, G., (2021), Pengaruh Variasi Kekasaran Lubang Nozzle Dengan Campuran Bahan Bakar Pertalite dan Spiritus Terhadap Karakteristik Nyala Ap. V-MAC (Virtual of Mechanical Engineering Article), 6(2), pp. 57–60.
- Haji, A.T.S., Wirosodarmo, R. and Tyas, M.W., (2018), Analysis of Temperature Nomography, Evaporation Rate and Air Pressure for Solar-Driven Desalination System Design With Vacuum Setting. (March), pp. 1–7.
- Hoiriyah, Y.U., (2019), Peningkatan Kualitas Produksi Garam Menggunakan Teknologi Geomembran. *Jurnal Studi Manajemen dan Bisnis*, 6(2), pp. 71–76.
- Ismiyati and Sari, F., (2020), Identifikasi Kenaikan Titik Didih Pada Proses Evaporasi, Terhadap Konsentrasi Larutan Sari Jahe. *Jurnal Konversi*, 9(2), pp. 33–39.
- Jesiani, E.M., Apriansyah, A. and Adriat, R., (2019), Model Pendugaan Evaporasi dari Suhu Udara dan Kelembaban Udara Menggunakan Metode Regresi Linier Berganda di Kota Pontianak. *Prisma Fisika*, 7(1), p. 46.
- M.Sc., M. *et al.*, (2023), Pengembangan Potensi Air Laut Menjadi Garam Industri Dan Garam Konsumsi Untuk Pemberdayaan Masyarakat Dengan Metode Rumah Prisma Di Desa Batuphat Barat Kota Lhokseumawe. *Jurnal Malikussaleh Mengabdi*, 2(1), pp. 35.
- Malensang, J.S., Komalig, H. and Hatidja, D., (2013), Pengembangan Model Regresi Polinomial Berganda Pada Kasus Data Pemasaran. *Jurnal Ilmiah Sains*, 12(2), pp. 149.
- Oei, Darmawan, E.W. and Antonius, S.E., (2017), Menemukan Akar Persamaan Polinomial Menggunakan Particle Swarm Optimization, 1(1), pp. 35–43.
- Putri, L.M.A., Prihandono, T. and Supriadi, B., (2017), Air adalah suatu zat kimia yang penting bagi semua bentuk kehidupan yang diketahui sampai saat ini di bumi. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 6(2), pp. 147–153.
- Sumada, K., Dewati, R. and Suprihatin, (2018), Garam Industri Berbahan Baku Garam Krosok Dengan Metode Pencucian dan Evaporasi (Industrial Salt Made From Krosok Salt Using Washing and Evaporation Method). *Jurnal Teknik Kimia*, 11(1), pp. 30–36.
- Syafii, M. *et al.*, (2022), Peningkatan °Be Larutan Garam Melalui Teknologi Spray Dalam Rangka Meningkatkan Produksi Garam Increasing °Be Salt using Spray Technology to increase Salt Production. *Journal of Chemical and Process Engineering ChemPro*, 3(1), pp. 1–7.
- Syakdani, A., Purnamasari, I. and Necessary, E., (2019), Prototipe Alat Evaporator Vakum (Efektivitas Temperatur Dan Waktu Evaporasi Terhadap Tekanan Vakum Dan Laju Evaporasi Pada Pembuatan Sirup Buah Mengkudu (*Morinda citrifolia* L.)). *Jurnal Kinetika*, 10(2), pp. 29–35.
- Udayanti (2019) 'Pendekatan Model Evaporasi, pp. 30-32.