

PENGARUH PENAMBAHAN EKSTRAK ASAM JAWA (*TAMARINDUS INDICA L*) TERHADAP KUALITAS & KUANTITAS PIEZOELECTRIC CRYSTAL SEBAGAI TRANSDUSER ENERGI LISTRIK

Muhammad Iskandar Al Hakim^{1*}, Idha Silviyati¹, Endang Supraptiah¹

¹Prodi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya

*Corresponding email: iskandarhakim81@gmail.com

Abstrak

Energi listrik merupakan salah satu energi primer yang tidak dapat dilepaskan penggunaannya dalam kehidupan sehari-hari. Namun sumber energi untuk produksi listrik Indonesia sebagian besar bergantung pada sumber daya alam yang tidak terbarukan, sehingga diperlukan inovasi sumber energi alternatif untuk produksi listrik. Contoh sumber energi listrik adalah kristal. Piezoelektrik adalah kemampuan beberapa kristal atau bahan tertentu lainnya yang dapat menghasilkan tegangan listrik di bawah tekanan, tegangan, dan getaran. Bahan utama yang digunakan dalam pembuatan kristal piezoelektrik adalah natrium karbonat dan kalium bitartrat yang salah satunya terkandung dalam buah asam jawa (*Tamarindus Indica L.*) yang mengandung 5,27% kalium bitartrat yang digunakan sebagai bahan baku tambahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan ekstrak asam jawa terhadap kualitas dan kuantitas *Piezoelektrik Crystal*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produk *Piezoelectric Crystal* (PC) terbukti dapat dihasilkan melalui reaksi antara reaktan natrium karbonat dan kalium bitartrat untuk perbandingan %w/w dengan rasio (0,8:1) sebanyak (47,5:60 gram) dan variasi penambahan ekstrak asam jawa 5, 10, 15, 20 dan 25 mL berkonsentrasi 1,0189 M kalium bitartrat dalam ekstrak asam jawa mempengaruhi bertambahnya nilai %yield, voltase dan densitas produk dengan kondisi optimum penambahan ekstrak asam jawa yaitu pada 25 mL menghasilkan %yield, densitas dan voltase produk tertinggi sebesar 99,91%, 1,6608 gr/cm³ & 163 mV tanpa perlakuan variasi tekanan. Ini membuktikan bahwa kandungan kalium bitartrat di dalam asam jawa memberikan peran untuk peningkatan kualitas dan kuantitas piezoelektrik kristal.

Kata kunci : *Piezoelectric Crystal, Asam Jawa (Tamarindus Indica L.), Energi Listrik.*

PENDAHULUAN

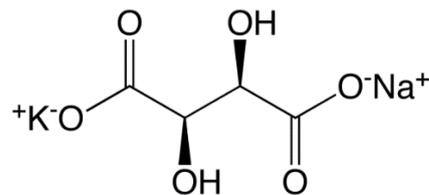
Undang-Undang Dasar 1945 Pasal 33 Ayat 3 berbunyi penguasaan sumber daya alam untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat, dan Undang-Undang No.30/2007 tentang Energi Pasal 19 Ayat 1 mengatakan bahwa setiap orang berhak memperoleh energi. Energi merupakan salah satu masalah utama yang dihadapi oleh hampir seluruh negara di dunia. Hal ini mengingat energi merupakan salah satu faktor utama bagi terjadinya pertumbuhan ekonomi suatu negara tidak terkecuali energi listrik. Energi listrik merupakan salah satu energi primer yang tidak dapat dilepaskan penggunaannya dalam kehidupan sehari-hari, baik di sektor rumah tangga, instansi pemerintahan maupun industri.

Menurut Rachmawati (2011) dalam Juito (2012), Peningkatan konsumsi energi listrik setiap tahunnya diperkirakan terus bertambah. Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) tahun 2010-2019 menyebutkan bahwa kebutuhan listrik diperkirakan mencapai 55.000 MW. Jadi rata-rata peningkatan kebutuhan listrik pertahun adalah 5.500 MW. Dari total daya tersebut sebanyak 32.000 MW (57%) dibangun sendiri oleh PLN, sedangkan sisanya yakni 23.000 MW akan dipenuhi oleh

pengembang listrik swasta. Namun, sumber energi pembangkit listrik di Indonesia sebagian besar bergantung pada penggunaan PLTA, PLTU, dan sebagainya dimana dibutuhkan suatu inovasi mengenai sumber energi pembangkit listrik alternatif yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan di Indonesia. Berawal dari hal tersebut, sepenuhnya kita menyadari akan arti pentingnya energi listrik dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu contoh dari sumber energi pembangkit listrik adalah *Piezoelectric Crystal (PC)*.

Menurut Muliansyah (2014), Piezoelektrik didefinisikan sebagai suatu kemampuan yang dimiliki sebagian kristal maupun bahan-bahan tertentu lainnya yang dapat menghasilkan tegangan listrik jika mendapatkan perlakuan tekanan atau regangan. Pemanfaatan bahan piezoelektrik dapat menghasilkan beda potensial yang cukup besar sehingga banyak digunakan sebagai sumber tegangan tinggi. Bersumber dari *Mechanical Vibration 6th Edition* oleh Singiresu S,rao, piezoelektrik kristal jenis garam Rochelle memiliki sensitivitas tegangan 0,098 V-m/N dan tegangan keluaran dapat mencapai 200 Volt dibawah tekanan. Sesungguhnya penggunaan *Piezoelectric Crystal (PC)* sebagai alternatif penghasil energi listrik telah banyak dilakukan di luar Indonesia. Jenis *piezoelectric crystal* yang paling sering digunakan adalah garam Rochelle atau natrium kalium tartrat. Dari sifat yang unik ini, material tersebut khususnya Kristal garam Rochelle, digunakan secara luas dalam pembuatan mikrofon, *pick-up* gramofon serta *headset*. Selain itu, garam Rochelle juga tidak mudah mencair, sehingga ia dapat digunakan sebagai transduser yang tidak akan memburuk ‘rusak’ saat disimpan ditempat yang lembab.

- **Rochelle Salt/ Natrium Kalium Tartart**



Sumber: <https://en.wikipedia.org>

Gambar 1. Senyawa Natrium Kalium Tartart

Tabel 1. *Properties of Some Piezoelectric Materials*

| <i>Material</i> | <i>Density (gr/cm³)</i> | <i>Dielectric Constant</i> | <i>Curie Temperature (°C)</i> |
|---------------------------------|------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Quartz | 2,65 | 4,6 | 575 |
| Li ₂ SO ₄ | 2,06 | 10,3 | |
| BaTiO ₃ | 5,7 | 1900 | 130 |
| PbTiO ₃ | 7,12 | 43 | 494 |
| PZT-4 ^a | 7,6 | 1300 | 320 |
| PZT-5 ^a | 7,7 | 1700 | 365 |
| LiNbO ₃ | 4,64 | 29 | 1210 |
| Rochelle Salt | | 5000 | 24 |

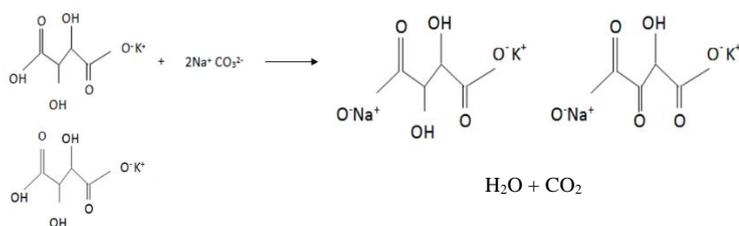
*PZT : Lead Zirconate Titanate

Source *Handbook of Tables for Applied Engineering Science, 2nd ed, CRC Press, Boca Roton FL (1973), and A.J. Maulson and J. M. Herbert, Elecroceramics, Chapman and Hall, London (1990).*

Natrium kalium tartrat merupakan garam rangkap yang pertama kali disintesis pada tahun 1675 oleh seorang apoteker Perancis Pierre Siegnette di La Rochelle, Perancis. Natrium bikarbonat yang biasanya

disebut baking soda serta kalium bitartrat atau krim tartar merupakan bahan baku utama penyusun garam Rochelle. Dimana kedua bahan baku utama tersebut juga terdapat pada Asam Jawa (*Tamarindus Indica L.*). Garam ini mempunyai rasa asin, dingin dan menimbulkan rasa gatal apabila terkena kulit. Mempunyai warna putih bening. Sistem kristalnya adalah monoklinik dengan sumbu $a \neq b \neq c$ yaitu $a = 11,87 \text{ \AA}$, $b = 14,32 \text{ \AA}$, $c = 6,32 \text{ \AA}$, dengan sudut $\beta = 89,26^\circ - 89,4333^\circ$ yang terinversi simetri dari sistem kristal ortorombik (Ernie E, dkk : 2007). Garam ini mudah sekali larut dalam air pada suhu 20°C , daya larutnya rendah apabila didalam alkohol. Kerapatannya 1,79 dan memiliki titik lebur $70-80^\circ\text{C}$, titik didih 220°C dan terdekomposisi pada suhu 55°C . Sedangkan pada sumber lain mengatakan bahwa titik leleh natrium kalium tartarat anhidrat masuk ke dalam *range* $80-100^\circ\text{C}$.

Hasil reaksi dari kedua reaktan tersebut akan membentuk kristal natrium kalium bitartart/garam Rochelle dengan bentuk kristal *Orthorombic* dan *Monoclinic* dengan reaksi sebagai berikut:



Adapun sifat fisik dan kimia dari garam Rochelle tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Sifat Fisik dan Kimia Natrium Kalium Tartrat

| Parameter | Keterangan |
|----------------|-------------------------------------|
| Bentuk | Padatan |
| Penampilan | Bening/Putih |
| pH | 7-8 |
| Titik Leleh | $70-100^\circ\text{C}$ |
| Kelarutan | Larut dalam air |
| Densitas | $1,79 \text{ gr/cm}^3$ |
| Rumus Kimia | $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ |
| Berat Molekul | 210 gr/mol |
| Bentuk Kristal | Monoklinik/ Orthorombik |

Sumber : *Material Safety Data Sheet*

- **Asam Jawa (*Tamarindus Indica L*)**

Menurut Hayati (2015), asam jawa termasuk tanaman yang berbuah polong dan didalam buah polong tersebut terdapat kulit yang membungkus daging, buah dan terdapat biji yang berjumlah 2-5 dengan warna coklat agak kehitaman. Pada daging buah asam jawa mengandung 8-16% asam tartrat, 30-40% gula, serta sejumlah kecil asam sitrat dan kalium bitartrat. Dimana menurut Soemardji (2007), daging buah asam jawa mengandung rata-rata 5,27% kalium bitartarat, 6,63% asam tartarat dan 2,20% asam sitrat.



Sumber: <https://Manfaat.co.id>

Gambar 2. Buah Asam Jawa (*Tamarindus Indica L.*)

Merujuk pada kandungan yang dimiliki daging buah asam jawa, kalium bitartrat inilah yang akan dimanfaatkan oleh peneliti sebagai material pembentuk piezoelektrik alami. Permasalahan yang dikaji pada penelitian ini yaitu menentukan pengaruh *yield* dari variasi penambahan ekstrak asam jawa sebesar 5, 10, 15, 20 dan 25 mL ekstrak terhadap produk yang dihasilkan, mendapatkan voltase dari produk pada masing-masing variasi penambahan ekstrak sehingga diperoleh kondisi optimum penambahan ekstrak dan selanjutnya mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi produk yang didapatkan.

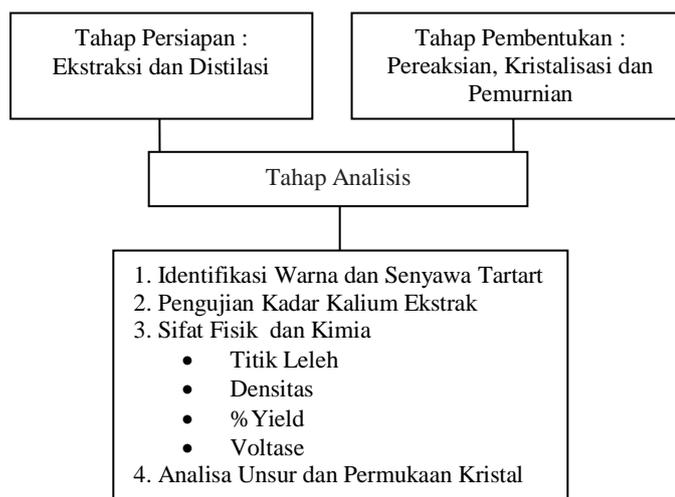
METODOLOGI PENELITIAN

1. Bahan penelitian
 - a. Air aquades
 - b. Asam Jawa (*Tamarindus Indica L.*)
 - c. Na_2CO_3
 - d. $\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$
2. Alat penelitian
 - a. Seperangkat alat ekstraksi
 - b. Seperangkat alat distilasi
 - c. *Hot plate*
 - d. Alat *glassware* laboratorium seperti: gelas ukur, erlenmayer, gelas kimia, spatula, batang pengaduk.
 - e. Wadah kristalisasi
 - f. Aluminium foil/ tutup rapat
 - g. Gunting, *cutter*, dan pinset
 - h. Kertas label
 - i. Osiloskop
 - j. Alat tulis seperti: kertas, pena dan pensil.
3. Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan melalui beberapa tahapan kerja yaitu tahap persiapan terdiri dari ekstraksi dan distilasi asam jawa sebagai material tambahan untuk pembuatan piezoelektrik kristal, tahap pembentukan piezoelektrik yang terdiri dari pereaksian, kristalisasi dan pemurnian, serta tahap analisis terdiri dari identifikasi warna dan senyawa tartart, pengujian kadar kalium terlarut di dalam ekstrak asam jawa, titik leleh, densitas, %yield, voltase, analisa unsur dan permukaan XRD-Brukcer dan SEM-EDS.

Dalam penelitian ini dilakukan penambahan ekstrak asam jawa sebagai material tambahan pada reaksi pembentukan piezoelektrik kristal dengan variasi 5, 10, 15, 20 dan 25 mL ekstrak asam jawa berkonsentrasi 1,0189 M kalium bitartart. Asam jawa yang diketahui memiliki kadar kalium bitartart diharapkan dapat berperan sebagai reaktan tambahan pembentuk piezoelektrik, piezoelektrik kristal jenis garam Rochelle terbentuk melalui reaksi netralisasi antara natrium karbonat dan kalium bitartart. Gambar 3 menunjukkan blok diagram penelitian dan variabel perobaan yang tetap pada penelitian ini adalah :

1. Rasio $\text{Na}_2\text{CO}_3 : \text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6 = (0,8 : 1 \%w)$ sebanyak
 (47,5 gram : 60 gram)
2. Volume Air Pelarut = 150 mL
3. Temperatur Reaksi = 75-80°C
4. Temperatur *Hot Plate* = 100°C
5. Kecepatan Pengadukan = 200 rpm
6. Waktu & Temp. Kristalisasi = 24 jam & 30°C



Gambar 3. Metode Eksperimen

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa awal yang dilakukan mengenai kadar logam kalium terlarut di dalam ekstrak asam jawa dengan menggunakan analisa *Atomic Absorbion Spectrofotometry* (AAS) sebelum dilakukan pengambilan data produk yang didapatkan untuk membandingkan keberadaan logam kalium di dalam asam jawa secara praktik sebagai bentuk pendekatan mengetahui kadar kalium bitartarat dalam asam jawa serta identifikasi warna & pengujian senyawa tartart yang ditunjukkan pada tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Hasil Analisa Kadar Kalium Ekstrak Asam Jawa

| Senyawa/Sampel | Pengujian | Nilai | Satuan |
|---------------------------------|-----------|---------|--------|
| Asam Jawa (Dalam Kulit Buah) | Kalium | 631,263 | ppm |
| Asam Jawa (Dalam Kemasan) | Kalium | 621,658 | ppm |

faktor pengenceran : 10x

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh data massa produk, volume, % *yield*, voltase, *melting point* dan densitas piezoelektrik kristal serta hasil uji voltase piezoelektrik kristal berkonduktor Cu dengan kondisi terbuka dan tertutup dengan tujuan mengetahui pengaruh penambahan ekstrak asam

Tabel 4. Identifikasi Warna dan Uji Senyawa Tartarat

| Cuplikan | Pereaksi | Warna Akhir |
|--|---|-------------------|
| Ekstrak Asam Jawa (Encer) | FeCl ₂ .4H ₂ O | Kuning |
| | KMnO ₄ | Bening kekuningan |
| | Resorsinol+H ₂ SO ₄ | Coklat muda |
| Ekstrak Asam Jawa (Pekat) | FeCl ₂ .4H ₂ O | Coklat keruh |
| Asam Tartarat 0,1 M | FeCl ₂ .4H ₂ O | Kuning |
| | KMnO ₄ | Bening |
| Aquadest | FeCl ₂ .4H ₂ O | Bening |
| KHC ₄ H ₄ O ₆ | FeCl ₂ .4H ₂ O | Bening |

jawa terhadap kualitas dan kuantitas piezoelektrik kristal yang ditunjukkan pada tabel 5 dan 6.

Tabel 5. Variasi Penambahan Ekstrak Asam Jawa Terhadap Variabel Uji

| Variasi Ekstrak (mL) | Massa Produk (gr) | Volume (cm ³) | Yield (%) | Voltase (mV) | Titik Leleh (°C) | Densitas (gr/cm ³) |
|----------------------|-------------------|---------------------------|--------------|--------------|------------------|--------------------------------|
| 0 | 54,95 | - | 81,99 | - | - | - |
| 5 | 52,90 | 34,8668 | 77,71 | 10 | 90,4 | 1,5172 |
| 10 | 62,00 | 40,8647 | 89,66 | 36 | 90,4 | 1,5172 |
| 15 | 68,10 | 43,5644 | 96,97 | 46 | 90,5 | 1,5632 |
| 20 | 70,90 | 43,9826 | 99,43 | 57 | 90,4 | 1,6120 |
| 25 | 72,30 | 43,5332 | 99,91 | 163 | 90,5 | 1,6608 |

Tabel 6. Hasil Uji Penambahan Ekstrak Terbaik Dengan Kondisi Kristalisasi 1 Atm dan Vacuum

| Kondisi Kristalisasi | Massa Produk (gr) | Volume (cm ³) | Yield (%) | Voltase (mV) | Titik Leleh (°C) | Densitas (gr/cm ³) |
|----------------------|-------------------|---------------------------|-----------|--------------|------------------|--------------------------------|
| 1 atm | 71,2 | 42,8709 | 98,37 | 16 | 90,5 | 1,6608 |
| Vacum | 68 | 40,9441 | 93,98 | 6 | 90,5 | 1,6608 |

Analisa unsur yang dilakukan terhadap produk berupa kristal piezoelektrik tersebut dilakukan dengan menggunakan alat analitik *X-Ray Diffraction* dan untuk mengetahui kerapatan fisik kristal jika ditinjau secara fisik dengan beberapa kali pembesaran digunakan *Scanning Electron Microscopy* yang dilakukan di laboratorium Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya dan POLDA bagian laboratorium forensik Palembang. Analisa unsur dimaksudkan untuk mengetahui kadar komponen yang terdapat di dalam kristal tersebut dan berusaha melihat adanya hubungan terhadap kerapatan dan unsur yang mendominasi kristal piezoelektrik. Hasil analisa unsur produk dapat dilihat pada tabel 7 dan 8.

Tabel 7. Hasil Analisa Unsur Produk Metode XRD

| Senyawa/Sampel | Pengujian | Nilai (%) |
|---|-------------|-----------|
| KNaC ₄ H ₄ O ₆ | [1] | |
| | 1. Natrium | 71,46 |
| | 2. Kalium | 28,54 |
| KNaC ₄ H ₄ O ₆ | [2] | |
| | 1. Natrium | 6,90 |
| | 2. Kalium | 2,85 |
| | 3. Hidrogen | 84,58 |
| | 4. Oksigen | 5,66 |

^[1]Analisa Unsur Mineral

^[2]Analisa Unsur Keseluruhan

Tabel 8. Hasil Analisa Unsur Produk Metode SEM-EDS

| Senyawa/Sampel | Pengujian | Nilai (%) |
|---|------------|-----------|
| KNaC ₄ H ₄ O ₆ | 1. Natrium | 42,43 |
| | 2. Kalium | 0,06 |
| | 3. Karbon | 7,96 |
| | 4. Oksigen | 49,56 |

PEMBAHASAN

1. Analisa Kadar Kalium

Dalam penelitian ini dilakukan penambahan ekstrak asam jawa ke dalam reaktan Na₂CO₃:KHC₄H₄O₆ (0,8:1 %w) dengan variasi 5, 10, 15, 20 dan 25 mL berkonsentrasi 1,0189 M kalium bitartart dalam ekstrak asam jawa. Penambahan ekstrak asam jawa berfungsi sebagai agen penyuplai senyawa pembentuk piezoelektrik kristal yaitu kalium bitartart, menurut Soemardji (2007) kandungan kalium bitartart dalam asam jawa sebesar 5,27%. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan penentuan kadar kalium yang terlarut didalam ekstrak asam jawa sebagai bentuk pendekatan untuk mengetahui keberadaan senyawa kalium bitartart yang nantinya akan digunakan sebagai bahan baku tambahan yang diharapkan dapat mempengaruhi hasil dari proses.

Nilai konsentrasi kalium terlarut dalam ekstrak asam jawa dalam kulit buah sebesar 631,263 ppm dalam keadaan belum dikalikan dengan fp (faktor pengenceran) dan ekstrak asam jawa dalam kemasan sebesar 621,658 ppm dalam keadaan belum dikalikan dengan fp (faktor pengenceran). Konsentrasi kalium terlarut dalam ekstrak asam jawa setelah dikalikan dengan fp (faktor pengenceran) maka akan berubah menjadi masing-masing sebesar 6312,63 ppm dan 6216,58 ppm jika dikonversikan ke dalam persen maka nilai kalium terlarut untuk masing-masing ekstrak asam jawa adalah sebesar 0,6313% dan 0,6216% (%w).

Sebelumnya secara teoritis persentase senyawa kalium bitartart di dalam asam jawa berkisar 5,27%, hal ini menunjukkan bahwa komposisi kalium terlarut berbeda dengan komposisi senyawa kalium bitartart sehingga tidak dapat dijadikan acuan untuk menetapkan kadar kalium bitartart di dalam ekstrak asam jawa tetapi dengan pengujian yang telah dilakukan ini dapat dibuktikan bahwa komposisi ekstrak asam jawa sebagian terdapat unsur kalium dan jika dikaitkan dengan teori, kalium yang ada pada ekstrak asam jawa dapat dipastikan berikatan dengan senyawa tartarat yang diketahui merupakan senyawa gugus karboksilat terbanyak di asam jawa. Sehingga peneliti berpendapat ekstrak asam jawa masih dapat

digunakan sebagai agen penyuplai senyawa yang dibutuhkan dalam pembuatan piezoelektrik kristal tersebut.

2. Identifikasi Warna dan Senyawa Tartart

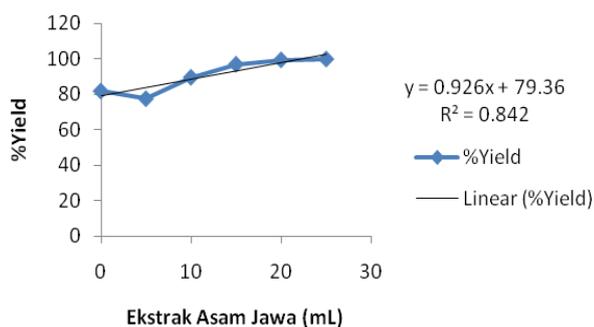
Kandungan senyawa tartart dan kalium bitartart terdapat di dalam asam jawa dapat diidentifikasi melalui prosedur analisa konvensional yaitu melihat perubahan warna larutan standar dan ekstrak asam jawa terhadap larutan pereaksi yang diberikan. Beberapa pustaka mengenai uji senyawa asam karboksilat mengatakan pereaksi yang tepat untuk asam tartart maupun senyawa tartart lainnya adalah $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ atau FeCl_3 , Resorsinol (Benzenediol)- H_2SO_4 dan KMnO_4 , senyawa tersebut digunakan untuk melihat adanya reaksi perubahan warna yang mengindikasikan ada atau tidaknya senyawa target dalam larutan asam jawa yaitu senyawa tartart. Hasil dari prosedur identifikasi warna yang telah dilakukan, untuk pereaksi $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ warna larutan asam jawa encer yang berwarna kecoklatan akan berubah warna menjadi berwarna kuning sedangkan untuk pereaksi KMnO_4 warna larutan asam jawa encer akan menjadi bening kekuningan sesuai dengan standar yang diujikan.

Standar senyawa tartart yang digunakan adalah asam tartarat 1 mL 0,1 M dalam tabung reaksi dengan perlakuan yang sama seperti ekstrak asam jawa encer, hasilnya adalah warna larutan asam tartarat 0,1 M yang ditetesi 3 tetes $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dan KMnO_4 masing-masing menjadi kekuningan dan bening, walaupun terjadi perbedaan warna pada pereaksian antara standar asam tartarat dan ekstrak asam jawa encer yaitu berwarna bening dan bening kekuningan, ini dapat disebabkan karena di dalam ekstrak asam jawa tidak hanya senyawa tartrat saja akan tetapi ada senyawa lainnya yang memungkinkan warna larutan ekstrak asam jawa encer tidak dapat bening keseluruhan. Meskipun demikian, ini menunjukkan/mengindikasikan bahwa senyawa tartart dalam ekstrak asam jawa benar adanya.

Untuk pereaksi resorsinol- H_2SO_4 0,1 M mengubah warna asam tartart menjadi cokelat muda yang sebelumnya berwarna kuning keruh, dikatakan juga bahwa hasil uji dengan menggunakan resorsinol 10 mL dan 1 mL H_2SO_4 terhadap sampel ekstrak asam jawa encer atau standar asam tartart 1 mL akan membentuk cincin di atas permukaan dan merubah warna larutan, namun pada penelitian kali ini peneliti tidak melihat adanya cincin yang terbentuk diatas permukaan, hanya saja terjadi perubahan warna dan kecenderungan benzenediol untuk tidak berikatan dengan larutan asam jawa encer yang ditandai dengan terlihat adanya larutan yang memisah diatas permukaan ekstrak asam jawa walaupun sudah ditambahkan asam sulfat pekat 1 mL sebagai pencampur kedua larutan.

3. Pengaruh Penambahan Ekstrak Asam Jawa Terhadap % Yield

Pengujian ini dilakukan atas dasar eksperimental sehingga tidak ada pembandingan untuk hasil pengujian produk kristal piezoelektrik yang lain. Jika ditinjau secara teori setiap kenaikan 5 mL penambahan ekstrak dengan konsentrasi $\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ di dalam ekstrak asam jawa sebesar 1,0189 M akan meningkatkan jumlah produk yang dihasilkan sebesar 1,0718 gram, hal ini juga akan berpengaruh terhadap % yield yang dihasilkan. Setelah dilakukan uji coba penambahan ekstrak asam jawa ke dalam reaktan dengan kondisi operasi berupa temperatur pemanasan 100°C , temperatur reaksi $79\text{-}80^\circ\text{C}$, kecepatan pengaduk 200 rpm, suhu kristalisasi 30°C , waktu kristalisasi ± 24 jam dan volume aquadest sebagai pelarut adalah 150 mL didapatkan hasil massa produk mengalami kenaikan terus-menerus mulai dari 5, 10, 15, 20 dan 25 mL ekstrak asam jawa. Dari data yang telah disajikan sebelumnya, grafik hubungan antara volume penambahan ekstrak asam jawa dengan % yield produk ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik hubungan antara volume penambahan ekstrak asam jawa terhadap %yield produk

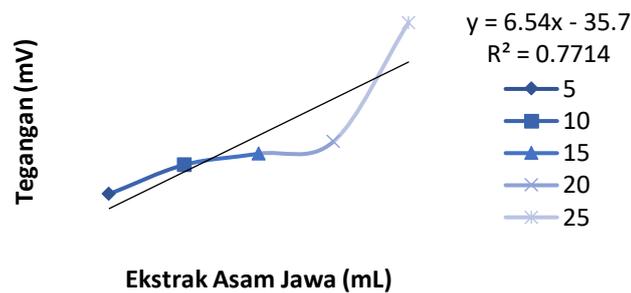
Kenaikan jumlah produk juga menyebabkan kenaikan jumlah %yield yang dihasilkan, hal ini dapat dikarenakan adanya penambahan ekstrak ke dalam reaktan berarti sama saja menambahkan sejumlah kalium bitartat ($\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$) ke dalam reaktan yang direaksikan. Walaupun penambahan tersebut hanya menyebabkan sedikit perubahan atau penambahan produk yang dihasilkan akan tetapi ini dapat dijadikan indikasi bahwa penambahan ekstrak dapat memperbanyak jumlah produk. Seperti yang ditunjukkan pada grafik diatas bahwa setiap variasi penambahan ekstrak asam jawa berlebih 5 mL akan menaikkan %yield produk.

Penambahan 25 mL ekstrak merupakan volume optimum yang dapat ditambahkan ke dalam rasio reaktan natrium karbonat dan kalium bitartat 0,8 : 1 (%w) dengan massa masing-masing 47,5 gram : 60 gram yang ditunjukkan pada tabel 2 surat keterangan validasi data di lampiran sebesar 99,91% sedangkan yield terendah ada pada penambahan volume ekstrak asam jawa 5 mL sebesar 77,71%. Sebelumnya juga telah dilakukan percobaan pembuatan kristal tunggal garam Rochelle tanpa menggunakan penambahan ekstrak asam jawa dengan keadaan operasi yang sama didapatkan %yield sebesar 81,99% namun dengan karakteristik kristal yang berbeda yaitu memiliki sifat fisik yang hampir sama dengan produk yang ditambahkan ekstrak namun berukuran kecil dan memanjang, serta agak memipih, lebih rapuh dan tidak dapat dijadikan variabel uji untuk analisa voltase dan frekuensi sedangkan dengan penambahan ekstrak asam jawa kristal Rochelle yang dihasilkan memiliki karakteristik yang lebih kuat, agak tahan terhadap tekanan ditandai ketika analisa voltase yang mengharuskan kristal untuk dijepit dengan elektroda negatif dan positif, struktur kristal (*latice*) yang meneruskan sinar (*translucent*) serta tidak banyak air yang terperangkap didalamnya.

Walaupun %yield yang dihasilkan meningkat setiap kenaikan 5 mL ekstrak tetapi yield yang dihasilkan memiliki persentase yang beragam dan tidak 100% linier, hal ini menunjukkan bahwa bukan hanya penambahan ekstrak asam jawa saja yang menjadi faktor peningkatan jumlah produk akan tetapi keadaan atau kondisi operasi pereaksian reaktan juga berpengaruh besar terhadap yield tersebut. Hipotesa yang dapat diajukan dari permasalahan tersebut kemungkinan adanya fungsi lain penambahan ekstrak asam jawa ke dalam reaktan pembentuk piezoelektrik kristal.

4. Pengaruh Penambahan Ekstrak Asam Jawa Terhadap Voltase Piezoelektrik Kristal

Pengujian ini dilakukan atas dasar eksperimental sehingga tidak ada pembandingan untuk hasil pengujian produk kristal piezoelektrik yang lain. Pengujian dilakukan dengan melihat voltase maksimum yang muncul di layar/ *display* osiloskop dalam keadaan konstan atau *steady*. Pengaruh penambahan ekstrak asam jawa terhadap voltase yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 5.



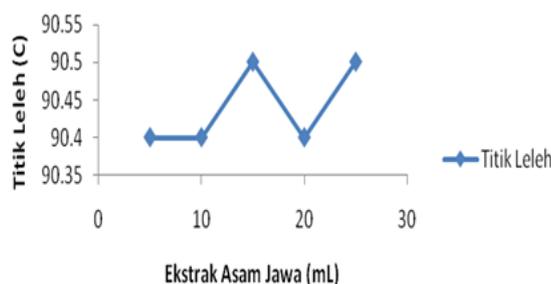
Gambar 5. Grafik hubungan antara volume penambahan ekstrak asam jawa terhadap voltase produk

Dari gambar 5 terlihat bahwa penambahan ekstrak asam jawa mempengaruhi kualitas piezoelektrik jika ditinjau dari seberapa besar voltase yang dihasilkan, kristal yang diukur rata-rata memiliki dimensi 0,5 x 1 x 0,2 cm dengan kerapatan, tingkat kejernihan kristal dan struktur permukaan yang berbeda satu sama lainnya. Semakin banyak ekstrak asam jawa ditambahkan ke dalam reaktan maka semakin besar pula voltase yang dihasilkan oleh kristal piezoelektrik, hal ini dapat dikarenakan penambahan ekstrak asam jawa memiliki peran selain sebagai penyuplai kalium bitartart juga sebagai suatu material yang bertugas meningkatkan kerapatan kristal.

Untuk dimensi yang telah disebutkan diatas dengan kerapatan yang berbeda penambahan 25 mL ekstrak asam jawa dengan konsentrasi 1,0189 M kalium bitartart, produk dapat menghasilkan 163 mV tegangan tanpa ketukan melainkan voltase timbul karena instrumen pengukur telah memberi tekanan dari penjepit. Pada gambar 5 di atas terjadi kenaikan voltase tiap penambahan 5 mL ekstrak dan pada penambahan 20 mL ke 25 mL terlihat perbedaan nilai tegangan listrik yang dihasilkan oleh kristal begitu besar, hal ini dikarenakan kristal piezoelektrik yang dihasilkan pada penambahan 25 mL ekstrak memiliki susunan secara fisik kokoh, sedikit kandungan air dalam kisi kristal dan *translucent* sehingga memungkinkan proses transduksi gaya mekanik yang diberikan penjepit menjadi tegangan listrik meningkat. Sedangkan kristal piezoelektrik yang dihasilkan tanpa menggunakan penambahan ekstrak asam jawa memiliki karakteristik yang tidak memungkinkan untuk dilakukan pengukuran (rapuh, tidak berbentuk kristal tunggal).

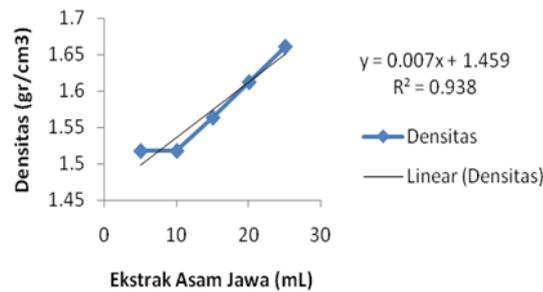
5. Pengaruh Penambahan Ekstrak Asam Jawa Terhadap Sifat Fisik Piezoelektrik Kristal

Pengujian ini dilakukan atas dasar eksperimental sehingga tidak ada pembandingan untuk hasil pengujian produk kristal piezoelektrik yang lain. Hubungan antara banyaknya volume penambahan ekstrak asam jawa terhadap titik leleh piezoelektrik kristal yang dihasilkan ditunjukkan pada gambar 6. Pada gambar 6 diketahui bahwa titik leleh dari produk piezoelektrik kristal memiliki nilai yang sama namun pada volume penambahan ekstrak asam jawa 15 dan 25 mL terjadi kenaikan titik leleh.



Gambar 6. Grafik hubungan antara volume penambahan ekstrak asam jawa terhadap titik leleh produk

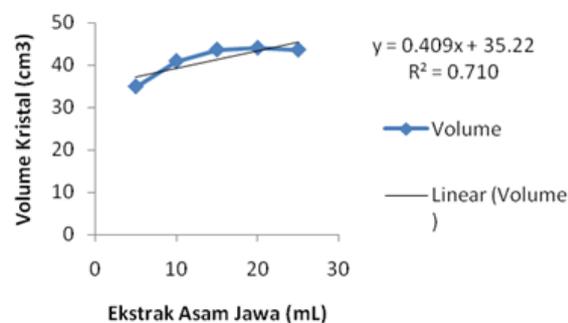
Meskipun demikian titik leleh dari produk piezoelektrik kristal tidak jauh berbeda karena masih berada pada *range* titik leleh kalium natrium tartarat secara teori yaitu sebesar 70 -100°C. Sehingga, penambahan ekstrak asam jawa tidak akan mempengaruhi titik leleh dari piezoelektrik kristal. peneliti juga melakukan penentuan densitas piezoelektrik kristal terhadap variasi penambahan ekstrak asam jawa untuk melihat pengaruh dari kerapatan terhadap kadar air yang terperangkap dalam kisi kristal dan voltase yang akan dihasilkan oleh kristal tersebut tiap besar maupun panjang sisi kristal. Dari data yang telah didapatkan, hubungan antara variasi penambahan ekstrak asam jawa terhadap densitas produk ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik hubungan antara volume penambahan ekstrak asam jawa terhadap densitas produk

Dari gambar 7 dapat dilihat bahwa penambahan ekstrak asam jawa mempengaruhi densitas dari produk piezoelektrik kristal, adanya kenaikan densitas kristal setiap penambahan ekstrak berlebih 5 mL dengan konsentrasi kalium bitartat sebesar 1,0189 M. Percobaan tersebut hanya digunakan untuk mengetahui adakah pengaruh penambahan ekstrak asam jawa terhadap tingkat kerapatan kristal yang dihasilkan, namun bukan berarti bahwa semakin banyak penambahan ekstrak asam jawa terhadap reaktan akan menghasilkan densitas kristal yang semakin tinggi karena densitas piezoelektrik kristal tersebut secara teori sebesar 1,79 gram/cm³. Kerapatan yang semakin besar mendekati kerapatan kalium natrium tartarat secara teoritis akan menyebabkan semakin berkurangnya kadar air yang terperangkap didalam kisi-kisi kristal sehingga dipol-dipol listrik yang dihasilkan dari tekanan yang diberikan pada kristal akan semakin bertambah tiap besar maupun panjang sisi kristal tersebut.

Dari hasil pengukuran massa produk yang didapatkan dan densitas masing masing variasi penambahan ekstrak asam jawa, volume piezoelektrik kristal yang didapatkan dapat diketahui. Berikut ini diperoleh grafik hubungan antara penambahan ekstrak asam jawa terhadap volume kristal yang dihasilkan.



Gambar 8. Grafik hubungan antara volume penambahan ekstrak asam jawa terhadap volume produk

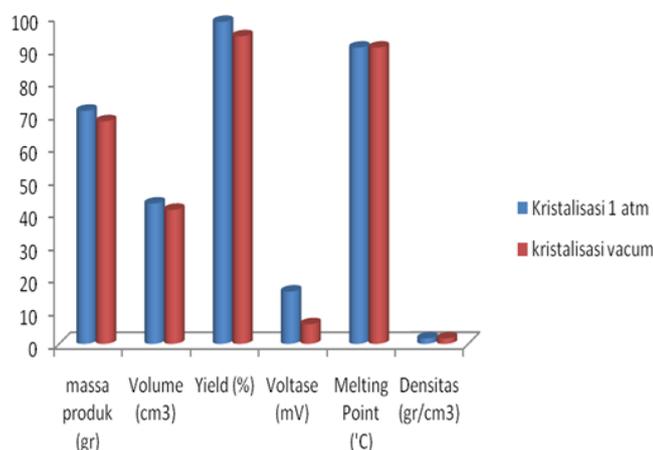
Gambar 8 menunjukkan adanya hubungan antara penambahan ekstrak asam jawa terhadap bertambahnya nilai volume kristal yang dihasilkan, semakin banyak penambahan ekstrak asam jawa ke dalam reaktan yang direaksikan dengan kondisi operasi yang setiap variasinya sama maka akan

menghasilkan massa yang cenderung meningkat tiap 5 mL penambahan ekstrak berlebih. Massa yang meningkat akan menyebabkan peningkatan volume produk, namun volume produk juga tidak hanya dipengaruhi besarnya massa yang dihasilkan akan tetapi juga dipengaruhi oleh densitas atau kerapatan kristal tiap variasi penambahan ekstrak. Dimana volume produk yang dihasilkan dari penambahan 5 sampai dengan 20 mL ekstrak cenderung meningkat dikarenakan massa yang dihasilkan tiap variasi selalu berbeda dan memiliki rentang yang cukup jauh sedangkan untuk penambahan ekstrak 25 mL menghasilkan volume produk yang menurun namun memiliki massa lebih besar dari lainnya, ini menunjukkan bahwa kerapatan kristal untuk penambahan 25 mL ekstrak merupakan kristal dengan kerapatan terbaik karena memiliki massa yang lebih besar dengan volume yang lebih kecil dari penambahan ekstrak sebelumnya.

6. Pengaruh Variasi Kondisi Kristalisasi Terhadap Variabel Uji

Pengujian ini dilakukan atas dasar eksperimental sehingga tidak ada pembandingan untuk hasil pengujian produk kristal piezoelektrik yang lain. Setelah percobaan dilakukan pada variasi penambahan ekstrak, diketahui bahwa volume penambahan ekstrak asam jawa yang menghasilkan voltase tertinggi ada pada volume 25 mL. Kemudian pembuatan piezoelektrik kristal dapat divariasikan dengan kondisi kristalisasi pada tekanan 1 atm dan vacum serta ditambahkan konduktor Cu (*Copper*) atau tembaga sebagai kawat penghantar tegangan ketika dilakukan pengukuran nilai voltase. Kristal piezoelektrik yang diukur tanpa dan dengan menggunakan konduktor Cu (*Copper*) menghasilkan voltase yang berbeda, dimana voltase yang dihasilkan untuk pengukuran secara langsung pada kristal piezoelektrik memiliki nilai voltase yang lebih besar jika dibandingkan dengan voltase yang dihasilkan dengan pengukuran menggunakan kawat konduktor Cu (*Copper*), hal ini dikarenakan kawat penghantar yang berfungsi sebagai media meneruskan tegangan ke pembacaan juga bertindak sebagai penghambat atau adanya voltase yang tertambat pada konduktor sehingga osiloskop hanya membaca sisa sinyal yang diteruskan.

Kedua pengkondisian pada 1 atm dan vacum dengan menggunakan kawat konduktor Cu (*Copper*) memperlihatkan hasil produk dengan ciri-ciri fisik yang sama terlihat pada gambar 9.



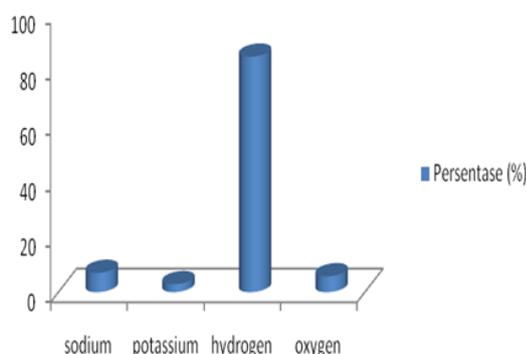
Gambar 9. Variasi Kondisi Kristalisasi Terhadap Variabel Uji

Dari kedua kondisi kristalisasi, ternyata voltase kristal dan %yield yang dihasilkan dari kondisi kristalisasi pada keadaan terbuka (1 atm) lebih besar dari pada kondisi tertutup (vacum) dengan nilai berturut-turut sebesar 16 mV - 6 mV dan 98,37% - 93,98% . Hal ini dapat terjadi karena pengaruh kerapatan kristal dan kadar air yang terperangkap pada rongga kristal, kerapatan kristal yang besar dan kadar air yang lebih kecil ada pada kristal di wadah kristalisasi terbuka (1 atm) sedangkan kerapatan yang sama namun dengan kadar air yang terperangkap lebih banyak terdapat pada kristal di wadah kristalisasi tertutup (vacum). Penyebabnya adalah kondisi tertutup pada wadah tersebut tidak

memungkinkan uap air untuk keluar ketika terjadi peristiwa penurunan temperatur, karena sebagian energi yang masih terperangkap didalam larutan induk dilepaskan melalui mekanisme penguapan lambat maka seharusnya air yang berada pada larutan induk harus dilepaskan ke udara dan tidak ditahan sehingga proses kristalisasi dapat berjalan tanpa mengalami cacat kristal.

7. Analisa Unsur Produk

Pengujian ini dilakukan atas dasar eksperimental sehingga tidak ada pembandingan untuk hasil pengujian produk kristal piezoelektrik yang lain. Sampel yang diukur merupakan variasi penambahan ekstrak asam jawa optimum yaitu pada 25 mL dengan konsentrasi 1,0189 M. Untuk analisa produk dengan menggunakan XRD, dilakukan dengan dua kali pengulangan dimana yang pertama dilakukan untuk membandingkan persentase dua unsur logam yang berikatan didalam kristal sedangkan yang kedua adalah analisa dilakukan untuk menentukan kadar keseluruhan unsur dalam kristal. Produk tersebut berupa piezoelektrik kristal jenis garam Rochelle dengan rumus kimia $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$, jadi setiap satu molekul senyawa kalium natrium tartart tersebut terdapat 1 unsur kalium dan natrium, 4 unsur karbon dan hidrogen serta 6 unsur oksigen. Dari analisa 2 unsur logam tersebut, terlihat pada lampiran c dan lembar validasi data bahwa nilai logam natrium lebih mendominasi dibandingkan dengan logam kalium meskipun jumlah unsur dalam ikatan kimia produk tersebut sama, hal ini dapat dikarenakan penambahan reaktan Na_2CO_3 yang berlebih jika dilihat dari persamaan reaksi dalam mol pada perhitungan. Selain itu logam natrium yang disubstitusikan ke senyawa kalium tartart berjumlah 2 unsur tiap kali tumbukan terjadi sehingga menyebabkan logam natrium akan lebih banyak persentasenya dibandingkan logam kalium. Logam kalium sendiri berasal dari reaktan kalium bitartart yang memiliki ikatan kalium satu pasang tiap molekulnya sehingga ketika terjadi tumbukan maka kalium yang berikatan membentuk produk dengan logam natrium jumlahnya lebih sedikit. Data yang dihasilkan dari hasil uji XRD dan SEM-EDS ditunjukkan dengan diagram batang, logam natrium dan kalium berturut-turut memiliki persentase 71,46% dan 28,54%.

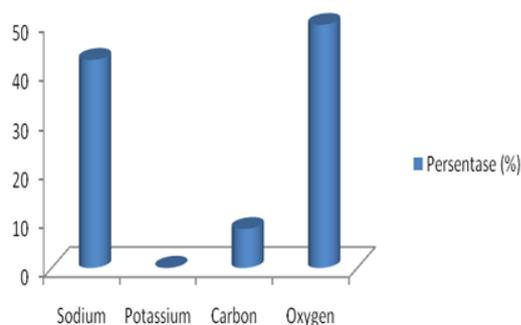


Gambar 10. Persentase kadar unsur keseluruhan produk dengan analisa XRD

Secara langsung dapat kita ketahui bahwa unsur yang paling banyak mendominasi di dalam produk jika dilihat dari ikatan molekulnya adalah unsur oksigen, namun dalam analisa XRD dan yang ditunjukkan pada gambar 10 grafik batang diatas didapatkan hasil jumlah persentase unsur keseluruhan tertinggi sampai terendah berturut-turut adalah hidrogen, natrium, oksigen dan kalium dengan nilai 84,58%, 6,90%, 5,66% dan 2,85% sedangkan karbon tidak dapat terbaca dalam alat XRD tersebut hal ini dikarenakan keterbatasan kemampuan alat sehingga hanya keempat unsur yang dapat ditampilkan pada pembacaan.

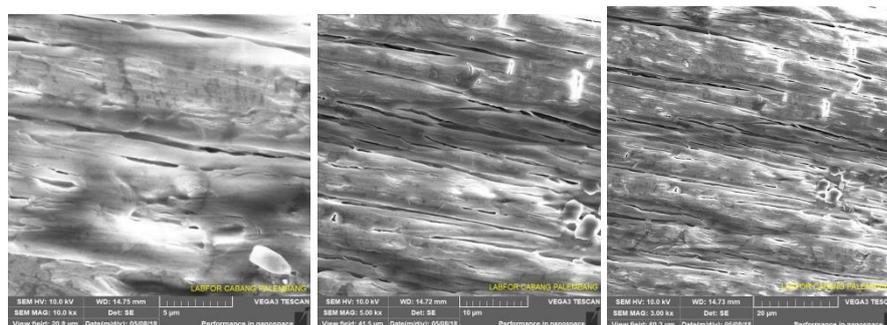
Komposisi hidrogen yang terbilang tinggi tersebut dapat disebabkan karena besarnya nilai asam pada reaktan kalium bitartart dengan 5 atom unsur H dalam tiap molekulnya sedangkan oksigen dengan persentase tidak terlalu tinggi dikarenakan pada saat reaksi berlangsung terjadi peristiwa pelepasan

oksigen dari senyawa karbonat, sebagian oksigen akan berikatan dengan 2 hidrogen yang terlepas dari senyawa kalium bitartart sedangkan sebagian lagi di lepas ke udara sehingga ketika proses pereaksian berlangsung diharapkan reaktor dalam keadaan tidak terlalu terbuka untuk menciptakan kondisi reaksi yang optimal.



Gambar 11. Persentase kadar unsur keseluruhan produk dengan analisa SEM-EDS

Gambar 11 merupakan grafik hasil analisa unsur produk dengan SEM-EDS, sampel yang diujikan sama dengan sampel ketika pengujian dengan XRD, kristal yang menghasilkan voltase tertinggi dianalisa permukaannya dengan mikroskop elekton tipe *Bruker* sampai dengan pembesaran 10.000, 5.000, dan 3.000 kali. Gambar permukaan kristal dengan pembesaran ukuran tersebut dapat dilihat pada gambar yang disajikan dibawah ini:



Gambar 12. Pembesaran 10.000x , 5000x dan 3000x kisi kristal SEM-EDS

Menunjukkan kerapatan kristal secara fisik untuk kristal dengan voltase keluaran tertinggi memiliki kerapatan yang baik hal ini dibuktikan dengan rekaman hasil *scanning* tersebut. Pada gambar tersebut tidak banyak terdapat retakan yang besar dan lubang ataupun pori dipermukaan kristal, permukaan kristal terlihat rapat dan rata walau ada sedikit celah. Hal ini lah yang memungkinkan interaksi antar kisi kristal ketika diberi tekanan berlangsung dengan baik sehingga menghasilkan dipol-dipol listrik yang lebih besar dari sampel sebelumnya.

Persentase unsur yang terkandung didalam produk yang dianalisa dengan menggunakan SEM-EDS dari yang terbesar ke terkecil berturut-turut adalah oksigen, natrium, karbon dan kalium sebesar 49,56%, 42,43%, 7,96% dan 0,06%. Sedangkan unsur yang tidak terbaca pada alat SEM-EDS adalah hidrogen, hal ini dikarenakan unsur hidrogen tidak memiliki nilai α sehingga tidak ada energi yang dapat diterima oleh alat untuk menangkap elektron dari unsur hidrogen. Jika dibandingkan dengan analisa XRD, terlihat perbedaan persentase dari unsur yang terdapat didalam piezoelektrik kristal hal ini dikarenakan perbedaan mekanisme ataupun proses pembacaan unsur dari kedua metode tersebut. Dimana analisa XRD menggunakan sinar-X yang ditembakkan secara penuh ke sampel sedangkan SEM-EDS hanya menembakkan sinar-X atau siar elektron sekunder pada permukaannya saja.

Pada pembacaan SEM-EDS persentase oksigen sedikit lebih tinggi dari natrium sedangkan pada pembacaan XRD persentase oksigen berada dibawah persentase natrium, hal ini menunjukkan bahwa padatan kristal $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ memiliki komposisi unsur Na yang distribusinya tidak menyebar secara merata (homogen) disetiap kristal yang terbentuk. Urutan persentase unsur dari yang terbesar sampai dengan terkecil secara keseluruhan adalah hidrogen, oksigen, natrium, karbon dan kalium. Kandungan karbon yang lebih kecil dibandingkan dengan oksigen dikarenakan jumlah atom karbon pada reaktan natrium karbonat hanya ada satu sedangkan oksigen memiliki tiga atom pada satu senyawa natrium karbonat. Pada senyawa kalium bitartart meskipun memiliki 4 atom karbon tetapi jumlah yang ditambahkan terbilang jauh lebih sedikit dibandingkan dengan natrium karbonat jika dilihat dari persamaan reaksi sehingga unsur seperti karbon dan kalium persentasenya akan lebih kecil.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penambahan ekstrak asam jawa pada *Piezoelectric Crystal* (PC) yang dihasilkan dari reaksi antara natrium karbonat dan kalium bitartart akan mempengaruhi bertambahnya %yield, voltase dan densitas produk, dengan bentuk fisik 'kristal tunggal' yang mampu meneruskan cahaya (*translucent*), kekerasan sedang dan bersifat piezoelektrik. Kondisi optimum penambahan ekstrak asam jawa yaitu pada 25 mL menghasilkan %yield produk dan voltase tertinggi sebesar 99,91% & 163 mV tanpa perlakuan variasi tekanan. Densitas dan titik leleh dari produk untuk penambahan ekstrak optimum sebesar 1,6608 gr/cm³ dan 90,5°C. Faktor yang mempengaruhi besarnya keluaran voltase yang dihasilkan oleh *piezoelectric* jenis kristal $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ ini yaitu kerapatan, kandungan air tak terikat di dalam piezoelektrik, kekerasan, dan keteraturan bentuk kristal.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriani, Rika. 2016. *Perbedaan Mordan Asam Jawa (Tamarindus Indica Linn) Jeruk Purut (Citrus Histrix) Terhadap Hasil Pencelupan Ekstrak Buah Senduduk (Melastoma Candidium D. Don) Pada Bahan Sutra*. Padang : Universitas Negeri Padang.
- Ar, Indah. 2009. *Persenyawaan Dari Golongan I A "Natrium Bikarbonat Dan Kalium Bitartart Sebagai Bahan Baku Pembuatan Garam Rochelle"*. Malang : Universitas Brawijaya.
- Ernie E, dkk. 2007. *Pengaruh Konsentrasi Larutan Terhadap Laju Pertumbuhan Kristal Tunggal Garam Rochelle ($\text{KN}_a\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$)*. Jurnal Fisika dan Aplikasinya. Vol.3, No. 1. Universitas Negeri Surabaya.
- Faradiba, Anggi, dkk. 2016. *Daya Antibakteri Infusa Daun Asam Jawa (Tamarindus Indica Linn) Terhadap Streptococcus Mutans (Antibacterial Activity Of Asam Jawa Leaf Infuse (Tamarindus Indica Linn) Against Streptococcus Mutans*. Jember : Universitas Negeri Jember.
- Gunawan, Putu Nopa. 2011. *Makalah Pengukuran Listrik Osiloskop*. Unduh pada 03 Maret 2018. Makasar: Universitas Hasanuddin.
- Hall., Chapman. 1990. *Electroceramics*. London : CRC Press
- Hayati, Etik Isman. 2015. *Pemanfaatan Serbuk Biji Asam Jawa (Tamarinndusindica L) Untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Tempe*. Semarang : Universitas Negeri Semarang.
- Harriyanto, dkk. 2013. *Studi Analisis Gelombang Tegangan Piezoelektrik*. Jakarta : Universitas Indonesia.
- Herbert. J. M. dkk. 1973. *Handbook of Tables for Applied Engineering Science 2nd ed*. Boca Raton FL : CRC Press.

- Irene. 2014. *Inovasi Unik Jepang, Listrik Tenaga Manusia Untuk Industri Kereta Api!*. Tribunnews (11 Maret 2018).
- Juwito, A.F. dkk. 2012. *Optimasi Energi Terbarukan pada Pembangkit Tenaga Listrik dalam Menghadapi Desa Mandiri Energi di Margajaya*. Jurnal Ilmiah Semesta Teknik 15 (1) : 22-24.
- Khopkar, S.M. 1970. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Diterjemahkan oleh A. Saptoraharjo. 2002. Jakarta: Universitas Indonesia
- Maulana, Riza. 2016. *Pemanfaatan Sensor Piezoelektrik Sebagai Penghasil Sumber Energi Pada Sepatu*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Muliansyah, Ahmad. 2014. *Pemanfaatan Teknologi Piezoelektrik Sebagai Transduser Energi Listrik Terbarukan dan Ramah Lingkungan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Purnomo, Chandra. 2015. *Material Cerdas Indonesia*. Cerdas.wordpress.com diunduh pada 22 Maret 2018. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Puspitasari, Ermay Hayu. 2014. *Uji Ekstrak Etanol 70% Daging Buah Asam Jawa (Tamarindus Indica L) Terhadap Penurunan Kadar Glukosa Darah Tikus Jantan Galur Wistar (Rattus Norvegicus) Yang Diinduksi Aloksan*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Rao, Singiresu S. 2011. *Mechanical Vibrations 6th Edition*. Prentice Hall.
- Raton, Boca, dkk. 1990. *Handbook of Tables for Applied Engineering Science, 2nd ed., CRC Press, Electroceramics, Chapman and Hall, London*.
- Soemadji. 2007. *Kajian Potensi Antioksidan Beras Merah dan Pemanfaatannya*. Bogor : Bogor Agricultural University
- Soemadji, A. A., 2007. *Tamarindus Indica L Or "Asam Jawa": The Sour but Sweet and Useful*. University of Toyama, Jepang.
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung : Alfabeta.
- Supriandani, Yundi, dkk. 2015. *Perancangan Dan Implementasi Karpet Piezoelektrik Untuk Pemanenan Energi*. Bandung : Pusat Teknologi Instrumentasi dan Otomasi, Institut Teknologi Bandung.
- Susanti, Aria, dkk. 2013. *Makalah Farmakognosi I : Suku Caesalpiniaceae Asam Jawa (Tamarindus Indica L) Tinjauan Botani, Kandungan Kimia, Kegunaan dan Pemanfaatannya*. Bandung : Universitas Islam Bandung.
- ScienceLab.com. *Material Safety Data Sheet*. Diakses pada 14 Februari 2017
- Wikipedia. 2017. *Natrium Kalium Tartart*. <https://id.m.wikipedia.org> diunduh pada 18 April 2018.
- Wulandari, dkk. 2013. *Pengaruh Defatting dan Suhu Ekstraksi Terhadap Karakteristik fisik Gelatin Tulang Ikan Gabus (Channa Striatta)*. 2 (1) : 1-8. Universitas Sriwijaya
- Zheal, Ackmad. 2012. *Penentuan Density Kristal Padat*. <https://id.scribd.com/doc/115027559/Penentuan-Density-Kristal-Padat> diunduh pada 23 Maret 2018.