

## UPAYA PENINGKATAN KEMURNIAN GARAM DAPUR LOKAL SEBAGAI BAHAN BAKU AMONIUM PERKLORAT DENGAN PENGUJIAN STATISTIK

Retno Ardianingsih  
Peneliti Bidang Teknologi Propelan, PUSROKET, LAPAN  
Pos El : re\_ardian@yahoo.com

### Abstrak

Setiap larutan yang akan dilewatkan ke dalam sel elektrolisis harus memiliki kemurnian yang tinggi. Oleh karenanya larutan NaCl teknis yang akan dielektrolisis menjadi Amonium perklorat, harus dimurnikan dari impuritisnya (ion Ca dan Mg).

Penelitian ini dilakukan dengan metode pengendapan dan pertukaran kation, yang bertujuan untuk mencari kondisi optimum dari tiap tahapan proses pemurnian NaCl teknis. Sebelum dan sesudah dilakukan proses pemurnian, kandungan impuritis larutan NaCl tersebut dianalisis dengan menggunakan ion kromatografi.

Kadar impuritis Ca dan Mg sebelum pemurnian adalah sebesar 12,68 ppm dan 11,87 ppm. Setelah pengendapan, kandungan impuritis Ca dan Mg mengalami penurunan menjadi 5,28 ppm dan 5,46 ppm pada penambahan PAC dengan konsentrasi optimum 30 ppm. Setelah mengalami tahapan proses pertukaran ion sebanyak 3 kali, kadar impuritis Ca dan Mg kembali mengalami penurunan yang lebih signifikan pada kisaran 73 – 80 %, yaitu menjadi hanya 1,36 ppm dan 1,04 ppm. Melalui perhitungan statistik dengan metode komparatif McNemar test dihasilkan bahwa variabel independen berupa penambahan PAC dan pertukaran ion, tidak mempunyai pengaruh yang nyata terhadap variabel dependen kandungan Ca-Mg. Hal ini dibuktikan dengan pengujian hipotesis yang menyatakan tidak terdapatnya perbedaan yang signifikan antara kandungan Ca-Mg sebelum dan sesudah perlakuan.

**Kata kunci** : Pemurnian NaCl, Elektrolisis, Amonium perklorat, Mc Nemar test

### Abstract

*Each of solution that will be passed to the electrolysis cell must have a high purity. Therefore the technical NaCl solution would be electrolyzed into Ammonium perchlorate, must be removed purified from that impurities (Ca and Mg ions).*

*This research was conducted with precipitation and cation exchange method to find optimum conditions of the NaCl purification. Before and after process, NaCl impurities content were analyzed by ion chromatography.*

*Ca and Mg content before purification were amounted to 12,68 ppm and 11,87 ppm. After precipitation, Ca and Mg levels decreased into reach 5,28 ppm and 5,46 ppm on the PAC addition with the optimum concentration of 30 ppm. After ion exchange process, Ca and Mg levels will decline back significantly in the range of 73-80 %, which is only 1,36 ppm and 1,04 ppm. By a statistical calculation with the comparative method of McNemar test resulted that independent variable such as the addition of PAC and ion exchange, has no real effect on the dependent variable content of Ca-Mg. This is evidenced by testing the hypothesis that the absence of significant differences between the content of Ca-Mg before and after treatment.*

**Keywords** : Brine purification, Electrolysis, Ammonium perchlorate, Mc Nemar test

## 1. PENDAHULUAN

Propelan padat komposit sebagian besar menggunakan bahan oksidator Amonium perklorat (AP) dengan kontribusi maksimal sebesar 80% dari berat propelan. Oksidator AP berfungsi menyediakan oksigen pada saat pembakaran *fuel binder* propelan.

Proses produksi AP di LAPAN menggunakan bahan baku garam dapur (NaCl). Rangkaian prosesnya diawali dari elektrolisis NaCl menjadi natrium klorida ( $\text{NaClO}_3$ ) kemudian dielektrolisis lagi menjadi natrium perklorat ( $\text{NaClO}_4$ ), dilanjutkan dengan proses amoniasi dengan penambahan amonium klorida ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) menjadi AP ( $\text{NH}_4\text{ClO}_4$ ). (Setyaningsih, H, 2008) Teknologi elektrolisis digunakan karena harga bahan baku yang digunakan cukup murah, memiliki kemurnian yang tinggi, serta temperatur dan tekanan operasi yang digunakan relatif rendah. (Bahrudin, et al, 2003)

Proses pembuatan AP selama ini masih menggunakan NaCl pro analisis (p.a) yang kadar kemurniannya sangat tinggi. Alasannya, larutan NaCl yang direaksikan di dalam sel elektrolisis harus terbebas dari impuritis yang dapat mengganggu jalannya proses elektrolisis. (Austin, G.T, 1987) Di sisi lain, NaCl teknis yang ada di pasaran belum cukup murni untuk digunakan langsung pada sel elektrolisis

karena masih banyak mengandung impuritis seperti ion kalsium (Ca) dan magnesium (Mg). Oleh karena itu diperlukan proses pemurnian larutan NaCl teknis dari impuritisnya sebelum diumpankan ke *electrolyzer*. (Gancy, et.al, 1978)

Secara ekonomi, harga NaCl teknis jauh lebih murah dibandingkan harga NaCl p.a. Selain itu ketersediaan NaCl teknis juga cukup memadai untuk pemenuhan kebutuhan produksi AP LAPAN. Oleh karenanya perlu diupayakan untuk menggunakan NaCl teknis yang lebih murah. Kegiatan ini dilakukan untuk memperoleh NaCl murni yang sesuai dengan spesifikasi persyaratan *electrolyzer*.

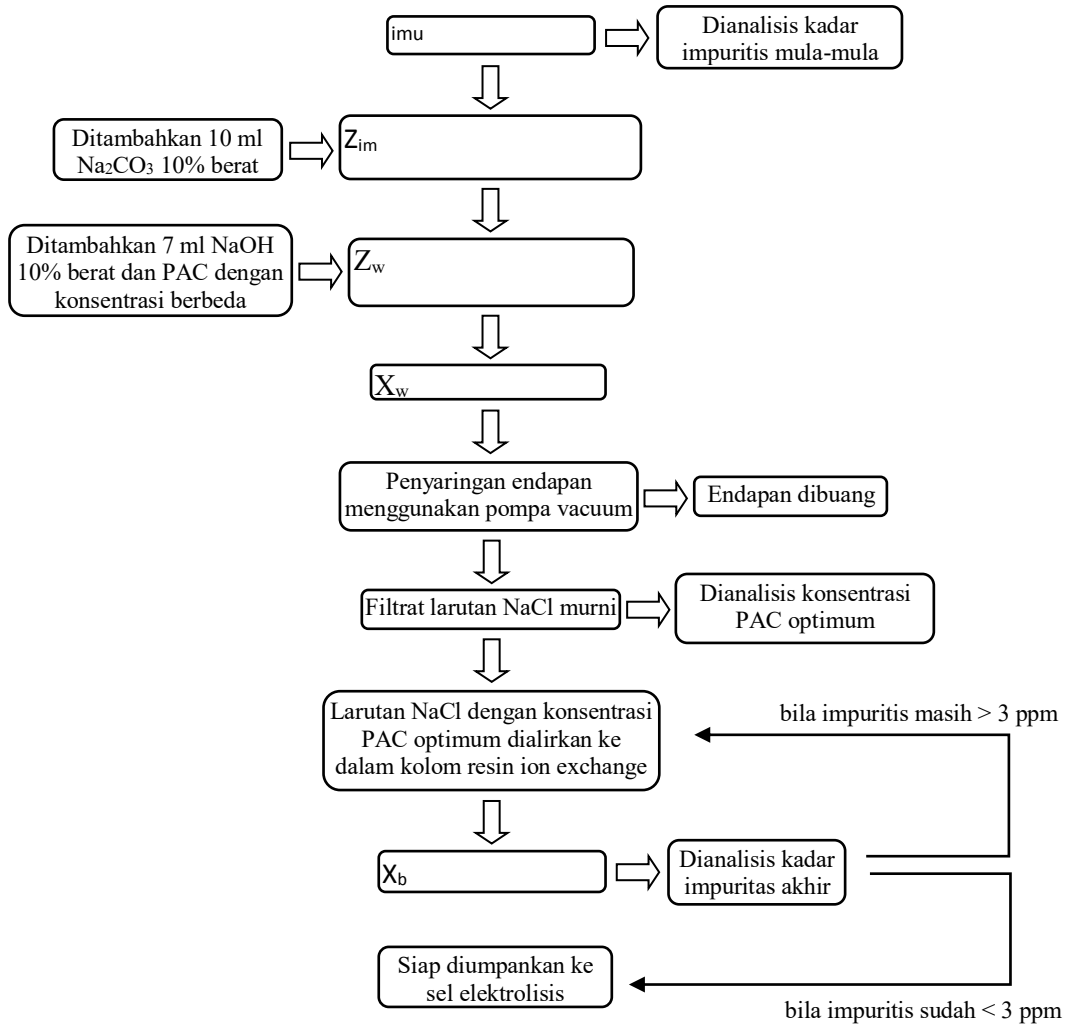
Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah selain untuk memurnikan larutan NaCl teknis supaya dihasilkan larutan NaCl murni yang *electrolyzeable*, juga untuk menghitung hipotesis komparatif pada sampel yang berkorelasi. Proses pemurnian NaCl tersebut dilakukan dengan menggunakan kombinasi metode pengendapan (koagulasi) dan pertukaran ion. Hipotesis penelitian yang dikemukakan adalah adanya perbandingan antara nilai sebelum dan sesudah treatment pengendapan dan pertukaran ion. (Sugiyono, 2011) Data yang dihasilkan kemudian diuji dengan teknik statistik, untuk kemudian dilihat seberapa besar korelasi kedua metode tersebut memberikan pengaruhnya dalam proses pemurnian NaCl.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Sintesa AP, Pusat Teknologi Roket, LAPAN Rumpin. Bahan yang digunakan adalah garam dapur teknis, larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  10% berat, larutan NaOH 10 % berat, larutan PAC 10 – 40 ppm, resin penukar kation LEWATIT TP-260 dan kertas saring Whatman. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah kombinasi metode pengendapan dan dilanjutkan dengan pertukaran ion melalui resin. Tahap pertama diawali dengan penambahan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dan NaOH pada larutan NaCl jenuh, kemudian pengendapan, penyaringan dan proses pertukaran kation. Hasil larutan dari tiap tahapan kemudian diukur kemurniannya menggunakan kolom kromatografi. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu larutan PAC dengan konsentrasi tertentu (10 - 40 ppm) dan kuantitas pertukaran ion (1-3 kali).

Hasil duplo suatu analisa biasanya tidak tepat sama, sehingga sulit dikatakan harga manakah yang sebenarnya paling mendekati dengan harga yang seharusnya. Biasanya orang mengambil nilai rata-rata sebagai kesimpulan. Tetapi timbul pemikiran apakah nilai rata-rata tersebut representatif untuk angka yang seharusnya. Perhitungan secara statistik digunakan untuk menentukan kebolehjadian / peluang apakah sesuatu hasil dinyatakan benar atau salah (Soedigdo, 1977). Adanya suatu permasalahan di dalam penelitian menimbulkan kerangka pemikiran untuk menjawab permasalahan. Jawaban terhadap permasalahan yang berupa teori tersebut dinamakan hipotesis. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian hipotesis komparatif yang ditandai dengan adanya taraf kesalahan (signifikansi) yang ditetapkan. Teknik yang digunakan adalah statistik nonparametris Mc Nemar Test karena datanya berbentuk nominal dan komparatif. (Sugiyono, 2011)

Data yang diperoleh kemudian diuji hipotesisnya menggunakan pengujian komparatif dua sampel yang berkorelasi. Rancangan penelitian pada teknik statistik Mc Nemar test biasanya berbentuk “before and after”, sehingga hipotesis penelitian merupakan perbandingan antara nilai sebelum dan sesudah adanya perlakuan (*treatment*). Perlu ditentukan terlebih dahulu bagaimana deskripsi hipotesis yang diterima dan hipotesis yang ditolak. Data yang ada kemudian disusun ke dalam tabel “sebelum dan sesudah” seperti pada tabel 3. Karena Mc Nemar test berdistribusi Chi kuadrat ( $\chi^2$ ) maka dilakukan perhitungan data ke dalam rumus (1). Setelah diperoleh harga  $\chi^2$  hitung kemudian dibandingkan dengan  $\chi^2$  tabel, dengan ketentuan pengujian adalah hipotesis ( $H_0$ ) akan diterima jika  $\chi^2$  hitung  $\leq \chi^2$  tabel. Dalam penelitian ini hipotesis awalnya ( $H_0$ ) adalah tidak terdapat perubahan (perbedaan) yang signifikan antara kandungan impuritis sebelum dan sesudah treatment (penambahan PAC dan pertukaran ion). Sedangkan hipotesis alternatifnya ( $H_a$ ) adalah sebaliknya. Sementara itu pada gambar 3 berikut ini ditampilkan alur proses pemurnian NaCl dengan metode pengendapan dan pertukaran ion hingga siap menjadi umpan sel elektrolisis.



**Gambar 2-1** Blok Diagram Proses Pemurnian NaCl dengan Metode Pengendapan dan Pertukaran Ion

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari instrumen ion kromatografi, diperoleh hasil kandungan impuritis larutan NaCl teknis mula-mula, pasca proses pengendapan dan pasca pertukaran ion berupa konsentrasi dalam ppm, yang ditunjukkan dalam tabel berikut ini.

**Tabel 3-1** Kandungan Impuritis NaCl pada variabel penambahan PAC

Impuritis	Sebelum penambahan PAC (g/L)	Setelah penambahan PAC (g/L)			
		10 ppm	20 ppm	30 ppm	40 ppm
Ca	12,68	8,11	7,35	5,28	5,33
Mg	11,87	7,90	6,07	5,46	5,50

(Sumber : Ardianingsih, R, 2013)

**Tabel 3-2** Kandungan Impuritis NaCl pada variabel pertukaran ion

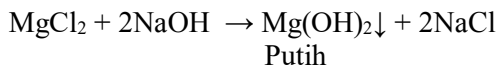
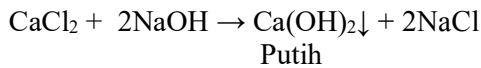
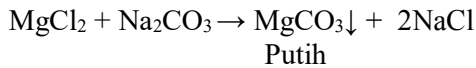
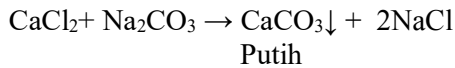
Impuritis	Sebelum pertukaran ion (g/L)	Setelah pertukaran ion (g/L)		
		Ke-1	Ke-2	Ke-3
Ca	5,28	2,55	1,43	1,36
Mg	5,46	2,27	1,09	1,04

(Sumber : Ardianingsih, R, 2013)

Impuritis pada garam dapur meliputi senyawa yang bersifat higroskopis yaitu  $MgCl_2$ ,  $CaCl_2$ ,  $MgSO_4$  dan  $CaSO_4$ , dan beberapa zat yang bersifat reduktor yaitu Fe, Cu, Zn dan senyawa-senyawa organik. Impuritis-impuritis tersebut dapat bereaksi dengan ion hidroksil ( $OH^-$ ) sehingga membentuk endapan putih  $Ca(OH)_2$  dan  $Mg(OH)_2$ . Impuritas tersebut dapat pula bereaksi dengan ion karbonat ( $CO_3^{2-}$ ) sehingga akan membentuk endapan putih yaitu  $CaCO_3$  dan  $MgCO_3$ . (Ardianingsih, R, 2013)

Pada Tabel 3-1, ditunjukkan bahwa kandungan impuritis mula-mula dalam larutan NaCl teknis masih tinggi, yaitu sebesar 12,68 ppm untuk ion Ca dan 11,87 ppm untuk ion Mg. Larutan NaCl tersebut belum dapat digunakan untuk proses elektrolisis karena angka yang ditunjukkan belum memenuhi persyaratan baku mutu *electrolyzer*. Baku mutu larutan garam sebagai umpan sel elektrolisis adalah NaCl dengan konsentrasi jenuh sebesar  $300 \pm 20$  g/L,  $Ca^{2+} \leq 3$  ppm,  $Mg^{2+} \leq 3$  ppm dan  $TSS \leq 7$  ppm. (Zulfansyah.B, dkk, 2003)

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh penulis sebelumnya mengenai penentuan volume penambahan natrium hidroksida (NaOH) ke dalam larutan NaCl jenuh, diperoleh hasil berupa volume optimal NaOH sebesar 7 ml. Percobaan dilakukan beberapa kali pada berbagai variabel. Berdasar pada hasil analisis instrumen HPLC kandungan impuritis pada NaCl jenuh dapat dikurangi secara maksimal apabila ke dalam larutan NaCl jenuh ditambahkan larutan NaOH sebanyak 7 ml per 1 liter NaCl jenuh. Penghilangan impuritis dari produk garam dapat dilakukan dengan proses kimia, yaitu mereaksikannya dengan  $Na_2CO_3$  dan NaOH sehingga terbentuk endapan  $CaCO_3$  dan  $Mg(OH)_2$ . Adapun reaksi kimia yang terjadi adalah sebagai berikut:

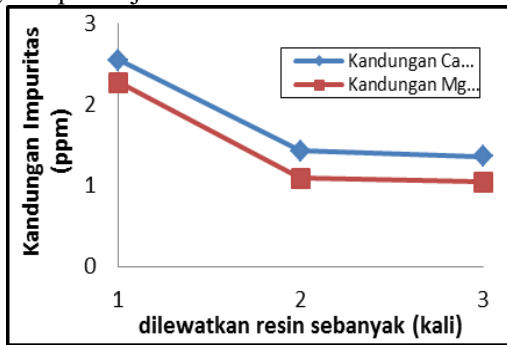


(Zulfansyah.B, dkk, 2003)

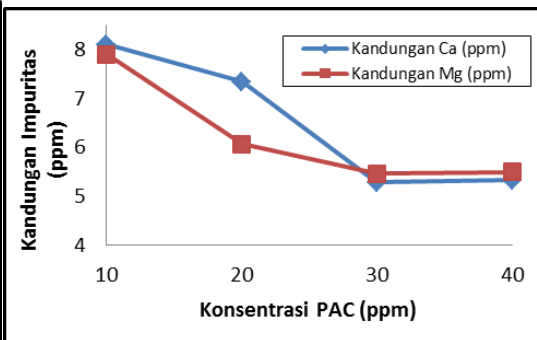
Setelah diperoleh nilai maksimal dari tahapan tersebut, pada larutan yang sama dilakukan proses pengendapan dengan perlakuan variasi konsentrasi PAC yang ditambahkan ke dalam larutan NaCl jenuh. Dengan menambahkan koagulan, penghilangan partikel dalam bentuk koloid (dalam hal ini endapan) akan lebih mudah dilakukan. Setelah proses koagulasi, partikel-partikel mengalami destabilisasi dapat saling bertumbukan, saling menarik dan menggumpal membentuk agregat sehingga terbentuk flok. Flokulasi merupakan proses pembentukan flok, yang pada dasarnya merupakan aglomerasi (penggumpalan) antara partikel dengan koagulan melalui *slow mixing*. Pada flokulasi terjadi proses penggabungan beberapa partikel menjadi flok yang berukuran besar. Partikel yang berukuran besar akan mudah diendapkan. Dengan kata lain proses flokulasi adalah proses pertumbuhan partikel terdestabilisasi (mikroflo) menjadi flok dengan ukuran yang lebih besar (makroflo). (Risdianto, 2007) Pemilihan koagulan PAC dilakukan karena keunggulannya yang tidak dimiliki oleh koagulan lain. PAC dapat bekerja di tingkat pH yang lebih luas, dengan demikian tidak diperlukan pengoreksian terhadap pH. PAC juga tidak menjadi keruh bila pemakaiannya berlebihan, sedangkan koagulan yang lain (seperti

aluminium sulfat  $[Al_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O]$ , besi klorida  $[FeCl_3 \cdot 6H_2O]$  dan besi sulfat  $[FeSO_4 \cdot 7H_2O]$  bila dosis yang diberikan berlebihan bagi air yang tingkat kekeruhannya rendah, maka air malah akan bertambah keruh. Oleh karenanya, pada waktu proses pengendapan ditambahkan PAC, agar endapan yang ada diharapkan dapat membentuk makroflok, yang nantinya akan mempermudah proses penyaringan. (Pararaja, 2008)

Berdasarkan hasil pengukuran HPLC seperti ditunjukkan pada tabel 3-1 yang merupakan treatment / perlakuan pertama, diperoleh hasil optimum penurunan kandungan Ca dan Mg pada variasi penambahan PAC sebesar 30 ppm. Begitu juga hasil pengukuran HPLC yang ditunjukkan oleh tabel 3-2 dengan treatment / perlakuan kedua, terdapat kandungan Ca dan Mg yang paling kecil nilainya setelah mengalami pertukaran ion (dilewatkan resin) sebanyak 3 kali. Hal ini dapat dilihat di grafik yang tertera pada Gambar 3-1 dan 3-2. Grafik pada Gambar 5 menunjukkan bahwa proses pertukaran ion mampu untuk lebih menurunkan kandungan impuritis pada NaCl dibandingkan hanya dengan metode pengendapan saja.



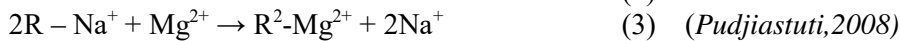
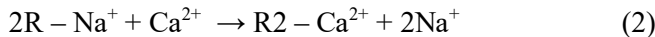
**Gambar 3-1.** Grafik hubungan antara konsentrasi penambahan PAC dengan kandungan impuritas Ca dan Mg  
(Sumber : Ardianingsih, R, 2013)



**Gambar 3-2.** Grafik hubungan antara kuantitas pertukaran ion dengan kandungan impuritas Ca dan Mg  
(Sumber : Ardianingsih, R, 2013)

Hasil yang diperoleh terlihat pada Gambar 3-2, yaitu dengan melewati larutan pada resin sebanyak tiga kali proses *batch*, maka diperoleh hasil yang lebih memuaskan dari sebelumnya. Bahkan dapat dikatakan bahwa proses pemurnian NaCl dengan metode pengendapan yang dilanjutkan dengan pertukaran ion, mampu menghasilkan larutan NaCl murni yang konsentrasinya melebihi dari apa yang disyaratkan oleh *electrolyzer*, yaitu kandungan impuritisnya mencapai  $< 2$  ppm, tepatnya 1,36 ppm untuk ion Ca dan 1,04 ppm untuk ion Mg.

Penurunan ini terjadi karena aktivitas resin sebagai resin kation  $Na^+$  yang tertukar dengan ion  $Ca^{2+}$  dan  $Mg^{2+}$ . Semakin lama waktu proses pengaliran larutan NaCl mengakibatkan kontak partikel resin dengan ion  $Ca^{2+}$  dan  $Mg^{2+}$  semakin lama, akibatnya semakin besar ion  $Ca^{2+}$  dan  $Mg^{2+}$  yang terserap dalam resin. Hal itu menunjukkan bahwa ion  $Ca^{2+}$  dan  $Mg^{2+}$  tertukar dengan ion  $Na^+$  yang terdapat dalam resin, sehingga  $Ca^{2+}$  dan  $Mg^{2+}$  akan mengganti posisi fungsi logam dalam resin. Seperti terlihat pada reaksi berikut:



Dengan terjadinya berbagai perbedaan nilai kandungan impuritis Ca dan Mg antara sebelum dan sesudah treatment (penambahan PAC dan pertukaran ion), diperlukan suatu pengujian hipotesis terhadap komparasi tersebut. Pengujian hipotesis ini dilakukan untuk melihat signifikansi perubahan (perbedaan) antara variabel dependen dan variabel independen. Dalam penelitian ini, hipotesis yang diajukan adalah sebagai berikut :

Ho : Tidak terdapat perubahan (perbedaan) yang signifikan antara kandungan impuritis sebelum dan sesudah treatment (penambahan PAC dan pertukaran ion)

Ha : Terdapat perubahan (perbedaan) yang signifikan antara kandungan impuritis sebelum dan sesudah treatment (penambahan PAC dan pertukaran ion)

Dengan menggunakan teknik statistik McNemar test untuk menguji hipotesis komparatif tersebut, maka dari Gambar 3-1 dan 3-2 dapat dibuat tabel segi empat McNemar mengenai perbandingan perbedaan yang ada, seperti ditunjukkan dalam tabel 3 berikut.

**Tabel 3-3** Tabel segi empat McNemar test

Kondisi sebelum (A)	Kondisi sesudah (D)	Kondisi sebelum (A)	Kondisi sesudah (D)
12,68	5,28	5,28	1,36
11,87	5,46	5,46	1,04

3(a). Pengaruh variabel penambahan PAC 30 ppm

3(b) Pengaruh variabel pertukaran ion sebanyak 3 kali

Test McNemar menggunakan distribusi Chi kuadrat ( $\chi^2$ ). Setelah dilakukan korelasi kontinuitas maka rumus perhitungannya adalah :

$$\chi^2 = \frac{(|A - D| - 1)^2}{A + D} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan perhitungan menggunakan rumus (1), harga  $\chi^2$  hitung tersebut kemudian dibandingkan dengan harga  $\chi^2$  tabel. (Sugiyono, 2011) Bila diasumsikan dk = 1 dan taraf kesalahan = 5%, maka harga  $\chi^2$  tabel = 3,481. Hasil ujinya dapat diringkaskan ke dalam tabel 3-4 berikut.

**Tabel 3-4** Hasil Uji McNemar test

	Variabel penambahan PAC		Variabel pertukaran ion	
	Ca	Mg	Ca	Mg
$\chi^2$ hitung	2,280624	1,688869	1,284096	1,799446
$\chi^2$ tabel	3,481	3,481	3,481	3,481
Kesimpulan hipotesis	Ho diterima Ha ditolak	Ho diterima Ha ditolak	Ho diterima Ha ditolak	Ho diterima Ha ditolak

Ketentuan pengujian adalah : bila  $\chi^2$  hitung lebih kecil sama dengan ( $\leq$ )  $\chi^2$  tabel, maka Ho diterima dan Ha ditolak. Berdasarkan perhitungan diatas, ternyata harga  $\chi^2$  hitung  $\leq$   $\chi^2$  tabel, hal ini berarti bahwa Ho diterima dan Ha ditolak. Jadi tidak terdapat perubahan (perbedaan) yang signifikan pada keempat variabel tersebut, yaitu antara kandungan Ca dan Mg sebelum dan sesudah treatment, baik itu treatment penambahan PAC 30 ppm maupun treatment pertukaran ion sebanyak 3 kali. Meskipun secara kuantitatif variabel dependen (kandungan impuritis) mengalami penurunan nilai setelah dikenai variabel independen (penambahan PAC dan pertukaran ion), tetapi secara statistik variabel independen tersebut tidak mempunyai pengaruh yang nyata / signifikan terhadap nilai variabel dependen.

**4. KESIMPULAN**

Proses *mixing* dan pengendapan berhasil menurunkan kandungan impuritis Ca sebesar 58,36 % (dari 12,68 ppm menjadi 5,28 ppm) dan Mg sebesar 54 % (dari 11,87 ppm menjadi 5,46 ppm). Proses pertukaran ion (dengan PAC 30 ppm) semakin menurunkan kandungan impuritis hingga tersisa 1,36 ppm (Ca) dan 1,04 ppm (Mg). Prosentase penurunan karena proses pertukaran ion terjadi sebesar 73 – 80 %.

Dari keempat variabel treatment yang diuji hipotesisnya menggunakan metode statistik pengujian komparatif McNemar test, disimpulkan bahwa Ho diterima dan Ha ditolak. Hal ini

menyatakan tentang tidak terdapatnya perbedaan yang signifikan pada kandungan impuritis Ca dan Mg antara sebelum maupun sesudah treatment. Baik itu tahapan penambahan PAC 30 ppm maupun pertukaran ion sebanyak 3 kali.

Melalui serangkaian tahapan proses pemurnian NaCl seperti tersebut di atas, garam dapur (NaCl) yang harganya lebih ekonomis ternyata dapat digunakan sebagai umpan elektrolisis AP (oksidator propelan). Karena NaCl teknis yang sebelumnya banyak mengandung impuritis, kini telah memiliki tingkat kemurnian yang tinggi sehingga dapat memenuhi baku mutu persyaratan *electrolyzer* dan selanjutnya dapat diolah menjadi Amonium perklorat.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Drs. Kendra Hartaya, M.Si yang telah membimbing dalam penulisan makalah ini. Juga kepada Dr. Heri Budi Wibowo yang telah membantu ide-ide, saran dan memotivasi penulis dalam penulisan makalah ini. Serta kepada rekan-rekan lab. Sintesa AP serta pihak-pihak terkait yang turut dalam terlaksananya kegiatan penelitian ini.

#### PERNYATAAN PENULIS

Penulis menyatakan bahwa makalah ini adalah asli hasil karya penulis sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi. Segala bentuk tulisan yang dijadikan sumber rujukan juga telah disitasi dalam daftar pustaka. Penulis juga menyatakan bahwa keseluruhan isi makalah ini sepenuhnya akan menjadi tanggung jawab penulis.

#### DAFTAR PUSTAKA

- 1) A.B. Gancy, C.J. Kaminski, both of Syracuse, N.Y., “*Brine Purification Process*”, U.S. Patent No.4,115,219. 1978.
- 2) Austin, G.T, “*Shreve’s Chemical Process Industries*”, Mc Graw Hill, Kogakusha. 1987.
- 3) Ardianingsih, Retno, “*Optimasi Pemurnian NaCl dengan Metode Pengendapan dan Pertukaran Ion untuk Umpan Elektrolisis Amonium Perklorat*”, Prosiding JASAKIAI XVI September 2013 (hal.639-646), ISSN : 0854-4778. 2013
- 4) Zulfansyah, Bahruddin., Aman, Iiyas Arin, Nurfatihayati, “*Penentuan Rasio Ca/Mg Optimum pada Proses Pemurnian Garam Dapur*”, *Jurnal Natur Indonesia* 6(1): 16-19. 2003.
- 5) Pararaja, Arifin, “*Bahan Kimia Penjernih Air (Koagulan)*”, 2008, <http://smk3ae.wordpress.com/2008/08/05/bahan-kimia-penjernih-air-koagulan>, diakses 15 April 2011
- 6) Risdianto, D., “*Optimasi Proses Koagulasi Flokulasi untuk Pengolahan Air Limbah Industri Jamu (Studi Kasus PT. SIDO MUNCUL)*”, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro, Semarang. 2007.
- 7) Pujiastuti, C., “*Kajian Penurunan Ca Dan Mg Dalam Air Laut Menggunakan Resin (Dowex)*”, *Jurnal Teknik Kimia*, Vol.3, No.1, September 2008, Fakultas Teknologi Industri UPN “Veteran” Jawa Timur. 2008.
- 8) Setyaningsih, Henny, “*Upaya Kemandirian AP sebagai Bahan Oksidator Propelan*”, *Berita Dirgantara* Vol.8 No.1 Maret 2009 LAPAN, Jakarta. 2008.
- 9) Soedigdo, Soekeni, P. Soedigdo, “*Pengantar Cara Statistika Kimia*”, Institut Teknologi Bandung, Bandung. 1977.
- 10) Sugiyono, Prof.Dr., “*Statistika untuk Penelitian*”, Alfabeta, Bandung. 2010.