

## REVIU SINTESIS, KARAKTERISASI, DAN APLIKASI TIMAH TETRAKLORIDA PENTAHIDRAT

Alia Badra Pitaloka<sup>1,4,5</sup>, Jayanudin<sup>1,5</sup>, Rahmayetty<sup>1,3,5</sup>, Saepurahman<sup>2,5</sup>, Selfira Arum Andadari<sup>6</sup>, Teguh Kurniawan<sup>1,4,5</sup>, Marta Pramudita<sup>1,4,5\*</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, 42435, Indonesia

<sup>2</sup>Research Center for Chemistry, National Research, and Innovation Agency (BRIN), Tangerang Selatan, 15324, Indonesia

<sup>3</sup>Laboratorium Material Terapan dan Rekayasa Produk, Center of Excellent, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, 42435, Indonesia

<sup>4</sup>Laboratorium Valorisasi Biomassa, Center of Excellent, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, 42435, Indonesia

<sup>5</sup>Pusat Kolaborasi Riset (PKR) Timah, Center of Excellent, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, 42435, Indonesia

<sup>6</sup>PT Timah Industri, Cilegon, 42436, Indonesia

\*Email: [marta.pramudita@untirta.ac.id](mailto:marta.pramudita@untirta.ac.id)

### Abstrak

Produk turunan timah dengan nilai ekonomi lebih tinggi sangat sedikit dihasilkan di dalam negeri. Oleh sebab itu, pemerintah menerapkan larangan ekspor timah murni. Kebijakan larangan ekspor timah mentah perlu diiringi dengan penguasaan teknologi hilirisasi produk timah. Salah satu produk kimia turunan timah adalah  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  yang merupakan hasil reaksi antara  $\text{SnCl}_4$  dengan air. Karakterisasi produk  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  penting dilakukan agar kualitas produk tetap terjaga. Dalam artikel ini beberapa rute produksi komersial dan teknik karakterisasi  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  dari mulai menggunakan instrumen analisis canggih hingga analisis titrasi dibahas. Aplikasi komersial dari produk  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  mencakup bidang seperti katalis, stabiliser untuk *polyvinyl chloride* (PVC), semikonduktor, baterai, dan pewarna. Perkembangan terbaru mengenai potensi pengembangan penelitian  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  sebagai salah satu produk hilirisasi timah juga diulas dalam tulisan ini.

**Kata kunci:** Timah; Sintesis; Karakterisasi; Timah tetraklorida pentahidrat; Aplikasi

### Abstract

*Very few tin derivative products with higher economic value are produced domestically. Therefore, the government implemented a ban on the export of pure tin. The policy of banning raw tin exports needs to be accompanied by mastery of tin product downstream technology. One of the chemical products derived from tin is  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , which results from the reaction between  $\text{SnCl}_4$  and water. Characterization of the  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  product is essential to maintain product quality. Several commercial production routes are reviewed, and  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  characterization techniques are discussed, ranging from advanced analytical instruments to titration analysis. Commercial applications of  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  products include catalysts, stabilizers for polyvinyl chloride (PVC), semiconductors, batteries, and dyes. The latest developments regarding the potential for research development of  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  as a downstream tin product are also reviewed in this paper.*

**Keywords:** Tin; Synthesis; Characterization; Tin tetrachloride pentahydrate; Application

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan cadangan timah terbesar di dunia dengan angka deposit sebesar 0,8 juta metrik ton (Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia, 2023). Produksi timah Indonesia mencapai 70 ribu ton pada tahun 2021. Sayangnya, lebih dari 95% produksi timah Indonesia diekspor sebagai timah murni dalam bentuk batangan. Produk turunan timah dengan nilai ekonomi lebih tinggi sangat sedikit dihasilkan di dalam negeri. Oleh sebab itu, pemerintah menerapkan larangan ekspor timah murni pada bulan Juni 2023 sesuai amanat Undang-undang Nomor 3 Tahun 2020 untuk mendorong hilirisasi timah. Kebijakan larangan ekspor timah mentah perlu diiringi dengan penguasaan teknologi hilirisasi produk timah.

Timah sebagian besar digunakan untuk keperluan solder dan produksi pelat timah (Gambar 1). Aplikasi terbesar ketiga adalah untuk bahan kimia, yaitu 15,5%. *Stabilizer* PVC merupakan salah satu bahan kimia turunan timah yang banyak digunakan dan memiliki keunggulan dibandingkan *stabilizer* dari bahan non-timah. Prekursor untuk berbagai bahan kimia turunan timah organotin adalah  $\text{SnCl}_4$ . Namun, penanganan bahan ini sulit karena menghasilkan uap (*heavy fuming liquid*) dan berbau tajam. Salah satu bentuk prekursor Sn (IV) yang lebih stabil adalah  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  karena berfasa kristal padat. Senyawa kimia  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , juga dikenal sebagai stanum (IV) klorida pentahidrat, adalah senyawa penting dalam dunia kimia dan industri. Indonesia belum dapat memproduksi padatan kristal putih  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

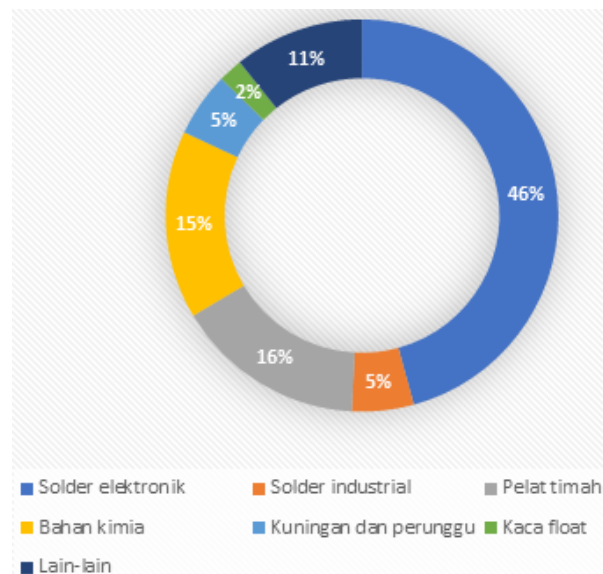
Produk kristal  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  merupakan hasil reaksi antara  $\text{SnCl}_4$  dengan air. Karakterisasi produk  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  penting dilakukan agar kualitas produk terjamin. Senyawa pengotor dapat mengurangi kualitas dari produk. Senyawa ini memiliki berbagai aplikasi yang beragam, mulai dari kimia industri, semikonduktor, katalis untuk hidrasi senyawa alkuna (Chen et al., 2015), katalis dalam reaksi mannich untuk produksi  $\beta$ -*amino carbonyl* (Wang, Song and Liang, 2010), wol tahan api (Kirk, Othmer and Newburger, 1953), hingga mordan. Fungsi mordan di dalam industri tekstil adalah sebagai senyawa pengikat zat warna agar tidak melarut dalam air.

Tulisan ini mengetengahkan tinjauan perkembangan terkini dari  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  terkait jalur-jalur produksi, teknik karakterisasi produk, dan aplikasi  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  serta potensi pengembangan penelitiannya. Tulisan mengenai  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  masih terbatas, sehingga dapat menjadi salah satu rujukan dalam penelitian produk turunan timah, khususnya  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Dari tulisan ini diharapkan dapat menjadi bahan rujukan untuk pengembangan riset berkelanjutan.

## 2. SINTESIS $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Stanum (IV) klorida pentahidrat,  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , merupakan kristal putih yang memiliki

kecenderungan untuk menjadi cair (*deliquescent*) dan larut dalam air atau metanol (Kirk, Othmer and Newburger, 1953). Senyawa ini dapat dibuat dari dua jenis bahan baku, yaitu logam timah (Sn) (Yunnan, no date) dan stanum (IV) klorida ( $\text{SnCl}_4$ ) (Othmer, 1953; Semenov et al., 2005; Mellor, 1927) melalui alur reaksi yang berbeda.



**Gambar 1.** Aplikasi produk timah global (Pearce and Wallace, 2015)

### 2.1 Sintesis $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ Dari Logam Timah (Sn)

Sintesis  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  dengan bahan baku logam timah (Sn), melibatkan dua zat yang lain, yaitu HCl dan  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Proses ini merupakan proses yang sederhana, aman, dengan biaya yang relatif rendah, dan ramah lingkungan (Yunnan, no date). Prosesnya adalah sebagai berikut:

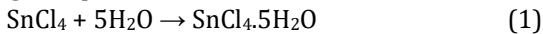
Logam timah dimasukkan ke dalam gelas reaksi, kemudian ditambahkan HCl pada temperatur ruang dan didiamkan untuk bereaksi selama 0,5-2,5 jam. Kemudian secara bertahap  $\text{H}_2\text{O}_2$  ditambahkan ke dalam campuran Sn dan HCl, dengan kecepatan penambahan yang terkontrol sehingga temperatur reaksi berada pada rentang 45-85°C. Setelah seluruh  $\text{H}_2\text{O}_2$  dimasukkan ke dalam gelas reaksi, campuran didiamkan untuk proses reaksi selama 1-4 jam. Larutan disaring dalam kondisi vakum (0-83KPa), sehingga mengkristalisasi dan menjadi kristal  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

Larutan HCl yang digunakan memiliki konsentrasi sebesar 25-32%-berat, sedangkan untuk larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$  sebesar 20-30%-berat. Perbandingan antara HCl terhadap timah yang digunakan pada proses ini adalah sebesar 3:1-5:1 (mol/mol) dan perbandingan antara  $\text{H}_2\text{O}_2$  terhadap Sn adalah 2:1-1:2 (mol/mol). Metode ini menghasilkan rendemen antara 28-98%. Rendemen tertinggi, yaitu sebesar 98%, diperoleh pada kondisi 400 g Sn direaksikan dengan larutan HCl 32%-b selama 2,5 jam dengan rasio mol HCl terhadap Sn sebesar 4:1. Larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang digunakan memiliki konsentrasi 30%-b dengan rasio mol  $\text{H}_2\text{O}_2$  terhadap

Sn sebesar 1:1. Larutan ini ditambahkan ke dalam campuran Sn dan HCl dengan kecepatan penambahan yang menghasilkan temperatur reaksi sebesar 85°C. Setelah H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> seluruhnya dimasukkan, reaksi dilanjutkan selama 4 jam.

**2.2 Sintesis SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O Dari Stanum (IV) Klorida (SnCl<sub>4</sub>)**

Pada sintesis jalur ini, stanum (IV) klorida pentahidrat dibuat dengan cara melarutkan SnCl<sub>4</sub> di dalam air panas, sehingga membentuk pentahidrat pada temperatur di atas titik leleh, kemudian didinginkan sehingga terbentuk kristal (Kirk, Othmer and Newburger, 1953). Suhu reaksi untuk menghasilkan pentahidrat adalah 19-56°C ((Kirk, Othmer and Newburger, 1953; Semenov *et al.*, 2005; Mellor, 1927). Reaksi ini bersifat eksotermik dan mengikuti persamaan reaksi berikut ini:



Pada tahun 1789, P.A. Adet melaporkan pembentukan kristalin SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O, dengan mencampurkan 22 bagian SnCl<sub>4</sub> dengan 7 bagian air. Hidrat ini merupakan yang termudah dibuat dan secara komersial dikenal sebagai *oxymuriate of tin*. B. Lewy mendapatkan hidrat ini dengan proses evaporasi larutan stanum (IV) klorida di dalam air; H. Rose, dengan proses saturasi (penjenuhan) larutan SnCl<sub>2</sub> dalam air; R. Bronner dan M. Rossler, dengan mengoksidasi larutan HCl dari SnCl<sub>2</sub> dengan asam nitrat atau kalium klorat, dan evaporasi untuk proses kristalisasi; dan J. Bellucci dan N. Parravano, dengan menyimpan SnCl<sub>4</sub>.2HCl.6H<sub>2</sub>O selama beberapa hari dalam alkali hidroksida pada temperatur ruang dan tekanan yang dikurangi (Mellor, 1927).

**3. KARAKTERISASI SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O**

**3.1 Spesifikasi Teknis SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O Komersial**

Tabel 1 menunjukkan bahwa penampakan visual berupa warna dan bentuk menjadi salah satu parameter penting dalam kualitas SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O dimana warna yang termasuk dalam spesifikasi adalah putih/tidak berwarna sampai kekuningan, sedang bentuknya bisa serbuk, bongkahan, maupun gumpalan. Kelarutan, baik dalam air maupun alkohol terkadang dimasukkan dalam spesifikasi produk. Secara umum diketahui bahwa SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O larut baik dalam air maupun alkohol, secara khusus Himedia menyebutkan kelarutannya sebesar 33,3 mg dalam 1 mL air. Secara umum semua pemasok menyebutkan kemurnian (*assay*) produk mereka dengan nilai bervariasi antara 97,5 sampai 102%. Himedia menyebutkan metode *assay* yang digunakan adalah *inductively coupled plasma* (ICP). Persentase Cl secara khusus disebutkan dalam spesifikasi teknis Sigma-Aldrich dimana rentang yang bisa diterima adalah 39,4-41,5%. Sedangkan metode untuk mengukur kadar Cl adalah melalui titrasi menggunakan perak nitrat. Sigma-Aldrich juga menyebutkan kadar Sn sebagai salah satu parameter kualitas dimana metoda yang digunakan adalah ICP.

Selain unsur unsur utama seperti Sn dan Cl. Keberadaan unsur unsur renik dalam SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O menjadi salah satu parameter kualitas. Unsur-unsur yang renik yang sering disebut diantaranya besi, arsen, kalium, natrium, dan plumbum dimana kadar maksimum yang boleh diterima bervariasi dan bisa di lihat di Tabel 1. Selain itu, keberadaan ion sulfat, materi tak larut, dan Senyawa tidak dapat diendapkan H<sub>2</sub>S juga menjadi parameter kualitas SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O.

**Tabel 1.** Spesifikasi dari SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O komersial dari beberapa pemasok bahan kimia

Parameter	Pemasok					
	Sigma-Aldrich (Sigma-Aldrich, no date)	Central Drug House (Central Drug House, no date)	Himedia (Himedia, no date)	Acros Organics (Acros Organics, 2008)	Honeywell (Honeywell-Fluka, 2018)	Thermo Scientific (Chemicals, no date)
Product/Lot number	244678/BCCK3675	030247	GRM2448	22369/A0260821	244678/I1370	223695000
Warna	Putih sampai kuning	Putih sampai kuning	putih sampai kuning	putih	Tidak berwarna	putih
Bentuk	Serbuk, bongkahan	serbuk, bongkahan, gumpalan	serbuk, bongkahan, gumpalan	serbuk		serbuk, bongkahan, gumpalan
Kelarutan dalam air	-	Larut	-		Larut	
Kelarutan dalam alkohol	-	Larut	-		-	
% Cl	39,4-41,5%		-			
Sn sesuai						
Assay (%)	98	≥ 97,5	98,00 – 102,00	≥ 98,0	98,1	≥ 98,0
Besi		<0,0005%	≤ 0,005%	< 50 ppm		≤ 50
Sulfat		< 0,001%	≤0,02%	< 200 ppm		
Arsen		<0,001%				
Kalium				< 100 ppm		
Natrium				< 100 ppm		
Plumbum				< 50 ppm		≤ 50 ppm
Materi tidak larut		<0,01%				
Senyawa tidak dapat diendapkan H <sub>2</sub> S		<0,05%				

**Tabel 2.** Rangkuman tipe kristal, *space group*, dan parameter kisi dari beberapa hidrat SnCl<sub>4</sub>

Hidrat	Tipe kristal	<i>space group</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	Ref.
SnCl <sub>4</sub> .3H <sub>2</sub> O	Monoclinic	P21/c	6,362 (3)	11,071 (4)	11,895 (4)	(Genge <i>et al.</i> , 2004)
SnCl <sub>4</sub> .4H <sub>2</sub> O	Monoclinic	Cc	23,987 (4)	6,714 (6)	11,580 (3)	(Genge <i>et al.</i> , 2004)
SnCl <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	Monoclinic	C2/c	12,379(12)	10,086(10)	8,701(9)	(Barnes, Sampson and Weakley, 1980)
SnCl <sub>4</sub> .8H <sub>2</sub> O	Monoclinic	C2/c	16,0224 (15)	7,8530 (8)	12,6766 (12)	(Hennings, Schmidt and Voigt, 2014)

**3.2 Karakteristik SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O: XRD**

Seperti disebutkan sebelumnya, bahwa SnCl<sub>4</sub> bisa membentuk beberapa senyawa dengan jumlah air hidrat yang berbeda. Salah satu cara untuk membedakan senyawa-senyawa tersebut adalah dengan menggunakan karakterisasi XRD. Berdasarkan hasil studi literatur didapatkan bahwa SnCl<sub>4</sub> dengan jumlah air hidrat berbeda dari tiga sampai delapan memiliki pola difraksi yang berbeda dikarenakan memiliki *space group* dan parameter kisi (*a*, *b*, dan *c*) yang berbeda seperti terlihat pada Tabel 2.

**3.3 Karakteristik SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O: TGA/DSC**

Selain XRD, salah satu cara mengkarakterisasi SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O adalah dengan melakukan analisis TGA. Studi literatur menyebutkan bahwa dehidrasi air terjadi pada suhu sekitar 100°C. Penurunan berat tertinggi diamati pada periode ini, yang dikaitkan dengan dehidrasi sampel. Selanjutnya terjadi infleksi yang dimulai pada suhu 148°C dan berakhir pada 175°C. Hal ini dapat disebabkan oleh dekomposisi garam yang menghasilkan SnO<sub>2</sub>. Analisis DSC menunjukkan terjadinya perubahan panas adsorpsi pada suhu 148°C yang merujuk kepada dekomposisi garam dan juga pada suhu 400°C yang merujuk kepada kristalisasi SnO<sub>2</sub> (Solís-Casados *et al.*, 2009).

**3.4 Karakteristik SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O: Titrasi Ion Klorida**

Salah satu cara menguji kualitas SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O adalah dengan mengukur kadar ion klorida dalam sampel. Cara ini relatif murah dan tidak memerlukan peralatan yang mahal seperti halnya ICP karena menggunakan metode titrasi. Dalam titrasi, ion klorida akan bereaksi dengan larutan perak nitrat membentuk endapan perak klorida, adapun kelebihan ion perak akan bereaksi dengan ion kromat membentuk endapan perak kromat yang berwarna merah yang selanjutnya digunakan untuk menentukan titik akhir titrasi (CEEA Erasmus, no date). Secara teoritis, kadar Cl dalam SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O adalah sebesar 40,448%. Adapun Sigma-Aldrich memberikan rentang yang dapat diterima diantara 39,4 dan 41,5%.

**3.5 Karakterisasi SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O Dengan Menggunakan Nuclear Quadrupole Resonance (NQR)**

Penentuan struktur timah (IV) hidrat dapat ditentukan dengan menyelidiki ikatan Sn-Cl melalui efek Mossbauer yang disebabkan <sup>119</sup>Sn (Ichiba *et al.*, 1968) dan *nuclear quadrupole resonance* yang disebabkan <sup>35</sup>Cl (Biedenkapp and Weiss, 1968). Pengukuran menggunakan spectrometer NQR digunakan untuk mengukur resonansi yang disebabkan <sup>35</sup>Cl yang terdiri dari *superregenerative oscillator, amplifier*, dan detektor. Frekuensi resonansi ditentukan pada dua temperatur yaitu suhu ruangan dan nitrogen cair. Hasil analisis menunjukkan bahwa hidrat SnCl<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O, SnCl<sub>4</sub>.3H<sub>2</sub>O, dan SnCl<sub>4</sub>.3D<sub>2</sub>O, mempunyai garis resonansi tunggal yang disebabkan oleh <sup>35</sup>Cl pada suhu kamar dan nitrogen cair. Pentahidrat berupa SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O dan SnCl<sub>4</sub>.5D<sub>2</sub>O memiliki dua garis resonansi pada suhu kamar. Garis resonansi tetrahidrat, SnCl<sub>4</sub>.4H<sub>2</sub>O dan SnCl<sub>4</sub>.4D<sub>2</sub>O tidak ditemukan. Frekuensi NQR dan karakteristik ionik dari berbagai hidrat terangkum dalam Tabel 3.

**Tabel 3.** Frekuensi NQR karena <sup>35</sup>Cl untuk hidrat timah (IV) klorida dan karakter ionik (Negita, Okuda and Mishima, 1969)

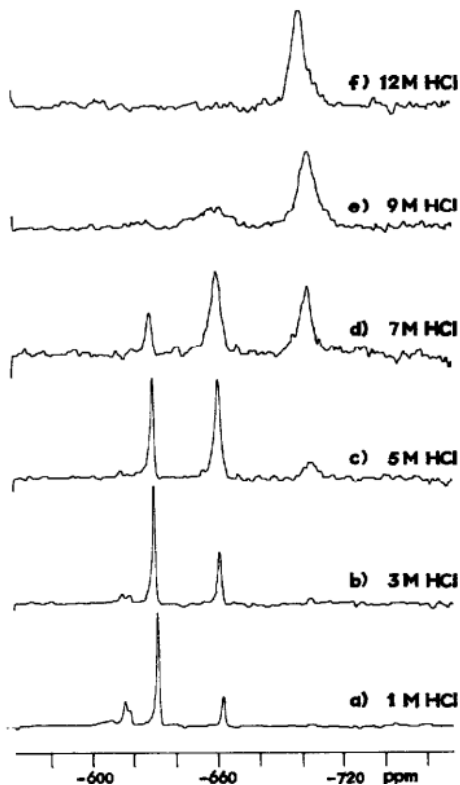
Hidrat	Frekuensi resonansi, MHz		Karakter ionik (%)
	77 K	293 K	
	SnCl <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	21,439	
SnCl <sub>4</sub> .3H <sub>2</sub> O	20,384	20,173	57
SnCl <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O		18,054	62
		17,656	
SnCl <sub>4</sub> .3D <sub>2</sub> O	20,438	20,208	57

Pada Tabel 3 terlihat bahwa frekuensi NQR menurun dengan peningkatan jumlah molekul air dan karakter ionik ikatan Sn-Cl dalam hidrat meningkat seiring dengan jumlah molekul air. Secara umum, hidrat timah (IV) klorida dengan banyak air menunjukkan frekuensi yang sedikit lebih tinggi daripada yang memiliki sedikit air. Namun hasil ini terlihat tidak ada perbedaan berarti dalam karakter ioniknya antara hidrat yang sesuai (Negita, Okuda and Mishima, 1969).

### 3.6 Karakterisasi SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O Dalam Larutan H<sub>2</sub>O/HCl Menggunakan <sup>119</sup>Sn NMR Spectra

SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O dalam larutan HCl dengan konsentrasi rendah atau dalam larutan air murni, ada beberapa pendapat yang menyatakan bahwa terdapat kandungan SnCl<sub>6-n</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>n<sup>n-2</sup></sub> (n = 1-6) (Taylor, Milligan and Parnell, 1972). Spektrum <sup>119</sup>Sn NMR dari SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O dalam larutan H<sub>2</sub>O/HCl didapatkan garis resonansi untuk masing-masing spesies dari SnCl(H<sub>2</sub>O)<sub>5</sub><sup>3+</sup>, SnCl<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>4</sub><sup>2+</sup>, SnCl<sub>3</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>3</sub><sup>+</sup>, SnCl<sub>4</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>, SnCl<sub>5</sub>(H<sub>2</sub>O)<sup>-</sup> dan SnCl<sub>6</sub><sup>2-</sup>. Hal ini memberikan bukti langsung terhadap spesies kompleks ini. Spektrum <sup>119</sup>Sn NMR direkam pada Varian Spektrometer XL-200 dengan probe pita lebar. Probe disetel ke 74,553 MHz. Parameter akuisisi ditetapkan sebagai: lebar spektral = 50.000 Hz, waktu akuisisi = 0,2 detik, lebar pulsa = 15 μs (~45°), interval spektral = 0,25 detik, titik data = 20.000, faktor luas garis = 50, dan *transient number* = 3000-8000, tergantung pada rasio sinyal terhadap *noise*. Medan magnetnya digeser dengan hati-hati dan kemudian dibiarkan begitu saja, yaitu D lock tidak dipasang selama akuisisi. Tidak ada pemisahan proton yang dilakukan. Cairan murni SnCl<sub>4</sub> digunakan sebagai referensi eksternal dengan δ(SnCl<sub>4</sub>) = -150 ppm, terhadap δ(Sn-Me<sub>4</sub>) = 0 ppm (Xi-an, Xiao-zeng and An-bang, 1989).

Spektrum <sup>119</sup>Sn NMR direkam untuk larutan HCl dari SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O dengan konsentrasi HCl yang bervariasi dari 12 M hingga 0 M dan dengan konsentrasi Sn dijaga konstan (SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O: pelarut = 1 g/1 ml, ~2,9 M). Spektrum <sup>119</sup>Sn NMR untuk larutan HCl dari SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O, ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektrum <sup>119</sup>Sn NMR dari larutan SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O 2,9 M dengan HCl hingga 12 M (Xi-an, Xiao-zeng and An-bang, 1989)

Dalam larutan HCl yang sangat pekat, atom timah membentuk spesies kompleks SnCl<sub>6</sub><sup>2-</sup> dan hanya ada satu sinyal pada -700 ppm atau lebih diamati dalam larutan HCl 12 M, 11 M, dan 10 M. Ketika larutan diencerkan menjadi HCl 9 M, signal -660 ppm mulai muncul. Ini menandakan adanya spesies SnCl<sub>5</sub>(H<sub>2</sub>O)<sup>-</sup>. Ketika larutannya dibuat lebih encer lagi, sinyal pada -630 ppm muncul dan menjadi lebih kuat dan semakin kuat, yang merupakan signal dari SnCl<sub>4</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>. Spesies *cis* dan *trans* tidak dapat dibedakan, hal ini kemungkinan disebabkan oleh keduanya mungkin sama satu sama lain, atau trans-spesies mungkin mendominasi *cis*-.

Dalam larutan HCl 3 M, sinyal dari SnCl<sub>6</sub><sup>2-</sup> mulai menghilang dan sinyal ganda pada -614 dan -618 ppm dapat dilihat. Sinyal ini menandakan SnCl<sub>3</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>3</sub><sup>+</sup> yang juga memiliki bentuk *cis*- dan *trans*.

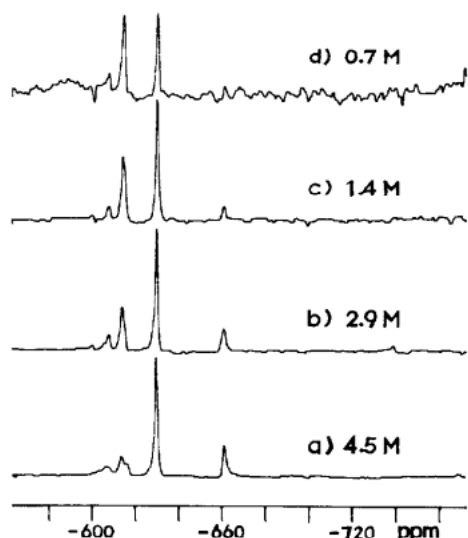
Spektrum <sup>119</sup>Sn dari larutan air murni dimana konsentrasi Sn divariasikan ditampilkan pada Gambar 3. Sinyal baru muncul pada -605 yang menandakan SnCl<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>4</sub><sup>2+</sup> dan -600 ppm yang menandakan SnCl(H<sub>2</sub>O)<sub>5</sub><sup>3+</sup> (Xi-an, Xiao-zeng and An-bang, 1989). Dalam larutan [HCl] tinggi, Cl<sup>-</sup> disubstitusi oleh H<sub>2</sub>O pada hidrolisis SnCl<sub>6</sub><sup>2-</sup>, sedangkan dalam [HCl] yang lebih rendah, [HCl] nol, atau larutan basa, Cl<sup>-</sup> disubstitusi oleh OH<sup>-</sup> (Burke and Lauterbur, 1961).

### 4. APLIKASI DAN KEGUNAAN SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O

Aplikasi SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O cukup beragam terutama pada pengembangan material. Salah satu aplikasinya adalah Sebagai mordant pada industri tekstil (Teli, 2015), Sebagai katalis dan prekursor serta mediator. Berikut ini adalah beberapa aplikasi dan kegunaan SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O.

### 5. POTENSI RISET SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O DI MASA DEPAN

Potensi riset SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O kedepannya akan terus berkembang, mengingat aplikasi dari produk turunan timah ini merupakan material penting yang digunakan pada semikonduktor, baterai, katalis, *stabilizer*, dan lain sebagainya. Selain itu penggunaan SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O dapat digunakan sebagai material *coating* yang cukup dominan terutama berkaitan dengan material yang memiliki nilai estetika, karena SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O memberikan warna khas pada material. Pengembangan riset SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O akan terus berjalan seiring dengan teknologi aplikasinya yang bersifat kekinian.



**Gambar 3.** Spektrum  $^{119}\text{Sn}$  NMR dari larutan air murni dengan variasi konsentrasi  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Senyawa  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  memiliki cukup banyak aplikasi di dunia industri, salah satunya adalah untuk mensintesis beberapa senyawa kimia lain.  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  digunakan sebagai sumber  $\text{Sn}^{4+}$  untuk mensintesis nanopartikel  $\text{SnS}_2$  (Chaki et al., 2013). Dalam proses pelapisan logam (*electroplating*),  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  digunakan sebagai bahan yang pelapis yang tahan terhadap korosi karena memiliki kestabilan yang cukup tinggi (Wang et al., 2017). Pada proses polimerisasi *10-vinyl phenothiazine*,  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  memiliki kemampuan untuk menginisiasi pertumbuhan rantai polimer dengan memanfaatkan bi-kation bebas (Svyatkina et al., 1984). Proses sintesis Nano partikel  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  membantu mendorong terjadinya kristal (Wang et al., 2020).  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  digunakan sebagai *caping agent* dalam pembuatan *hexagonal tungsten trioxide (h-WO<sub>3</sub>) nano rods* (Hu et al., 2017). Dalam pembuatan *hollow tin dioxide* mikropori, yang merupakan material dalam baterai litium,  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  digunakan sebagai bahan baku (Han et al., 2005).  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  juga digunakan sebagai mediator untuk proses kondensasi *benzyl* dengan *phenols* dan *aryl ether* (Morrison and Musgrave, 2002). Selain itu  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  digunakan sebagai katalis yang memiliki efisiensi yang tinggi untuk proses hidroksil alkin. Pada proses sintesis film  $\text{SnO}_2$  yang didoping dengan Cu,  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  digunakan sebagai reaktan menggunakan teknik pirolisis aerosol yang selanjutnya digunakan untuk aplikasi sensor gas (Brinzari et al., 2002).  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  sebagai prekursor pada sintesis hidrotermal Sn-magadiite (Santos, Silva and Meneghetti, 2019) dan pada pembentukan serbuk nano  $\text{ZrO}_2$ ,  $8\text{SnO}$ ,  $2\text{TiO}_4$  menggunakan proses sol-gel (Ho, Chen and Yang, 2010).

## 6. KESIMPULAN

Reviu artikel ini telah mengulas perkembangan terbaru teknologi dan hasil riset terkait produksi, karakterisasi dan sintesis  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Teknologi

untuk memproduksi  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  dapat dilakukan secara langsung dari Sn melalui kontak dengan gas klor lalu direaksikan dengan air atau dapat juga dari bahan  $\text{SnCl}_4$  untuk kemudian ditambahkan dengan air. Pilihan jalur tergantung pada bahan baku yang tersedia. Karakterisasi produk  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  dapat dilakukan dengan titrasi argentometri dilengkapi dengan analisis lainnya seperti Sn-NMR, XRD, TGA, dan Karl-Fischer. Salah satu aplikasi  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  yang menarik adalah untuk industri pewarna mengingat banyaknya jumlah industri tekstil dan cat di Indonesia.

## 7. DAFTAR PUSTAKA

- Acros Organics (2008) Tin(IV) chloride pentahydrate, 98+%, extra pure.
- Barnes, J. C., Sampson, H. A. and Weakley, T. J. R. (1980). Crystal structures of di- $\mu$ -hydroxo-bis[aquatrichlorotin (IV)]-1,4-dioxan (1/3), di- $\mu$ -hydroxo-bis[aquatrichlorotin (IV)]-1,8-epoxy-p-menthane (1/4), di- $\mu$ -hydroxo-bis[aquatribromotin (IV)]-1,8-epoxy-p-menthane (1/4), di. J. Chem. Soc., Dalton Trans., (6), pp. 949-953. DOI: 10.1039/DT9800000949.
- Biedenapp, D. and Weiss, A. (1968). Kernquadrupolresonanz(KQR)-Spektroskopie an  $^{35}\text{Cl}$  in Komplexverbindungen\* von Arsenrichlorid,  $\text{AsCl}_3$ , mit einigen aromatischen Kohlenwasserstoffen. Zeitschrift für Naturforschung - Section B Journal of Chemical Sciences. DOI: 10.1515/znb-1968-0210.
- Brinzari, V. et al. (2002). Morphological rank of nano-scale tin dioxide films deposited by spray pyrolysis from  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  water solution. Thin Solid Films, 408 (1-2), pp. 51-58. DOI: 10.1016/S0040-6090(02)00086-X.
- Burke, J. J. and Lauterbur, P. C. (1961).  $\text{Sn}^{119}$  Nuclear Magnetic Resonance Spectra, Journal of the American Chemical Society. DOI: 10.1021/ja01463a016.
- CEEA Erasmus. (no date). Titration Of Chloride Ions With Silver Nitrate.
- Central Drug House. (no date). Stannic Chloride Pentahydrate.
- Chaki, S. H. et al. (2013). Wet chemical synthesis and characterization of  $\text{SnS}_2$  nanoparticles. Applied Nanoscience (Switzerland), 3(3), pp. 189-195. doi: 10.1007/s13204-012-0123-7.
- Chemicals, T. S. (no date). Tin(IV) chloride pentahydrate, 98+%, extra pure.
- Chen, D. et al. (2015)  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ : A highly efficient catalyst for hydration of alkyne, Applied Sciences (Switzerland), 5(2), pp. 114-121. DOI: 10.3390/app5020114.
- Genge, A. R. J. et al. (2004). Hydrates of tin tetrachloride. Acta Crystallographica Section C: Crystal Structure Communications, 60(4). DOI: 10.1107/S0108270104005633.
- Han, S. et al. (2005). Simple synthesis of hollow tin dioxide microspheres and their application to

- lithium-ion battery anodes. *Advanced Functional Materials*, 15(11), pp. 1845–1850. doi: 10.1002/adfm.200500243.
- Hennings, E., Schmidt, H. and Voigt, W. (2014). Crystal structure of tin(IV) chloride octahydrate. *Acta Crystallographica Section E Structure Reports Online*, 70(12), pp. 480–482. doi: 10.1107/S1600536814024271.
- Himedia. (no date). Tin (IV) chloride pentahydrate (Stannic chloride pentahydrate).
- Ho, Y. S., Chen, T. S. and Yang, W. D. (2010). The effect of tin precursors on the formation of  $ZrO_3Sn_0.2TiO_4$  nano-powder by sol gel process. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 53(3), pp. 613–618. doi: 10.1007/s10971-009-2139-3.
- Honeywell-Fluka (2018). Tin (IV) chloride pentahydrate.
- Hu, P. et al. (2017). Hydrothermal synthesis and photocatalytic properties of  $WO_3$  nanorods by using capping agent  $SnCl_4 \cdot 5H_2O$ . *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, 92, pp. 12–16. DOI: 10.1016/j.physe.2017.05.004.
- Ichiba, S. et al. (1968). Mössbauer Effect of the 119 Sn in the Molecular Complexes of Tin Tetrachloride with Some Aliphatic Compounds. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*. DOI: 10.1246/bcsj.41.49.
- Kementrian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia. (2023). Wujudkan Visi Indonesia Emas 2045, Pemerintah Luncurkan Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) 2025-2045. <https://www.ekon.go.id/publikasi/detail/5196/wujudkan-visi-indonesia-emas-2045-pemerintah-luncurkan-rencana-pembangunan-jangka-panjang-nasional-rpjpn-2025-2045> (no date)
- Kirk, R. E., Othmer, D. F. and Newburger, S. H. (1953). Encyclopedia of Chemical Technology. *Journal of AOAC International*, 36(4), pp. 1190a – 1191. doi: 10.1093/jaoac/36.4.1190a.
- Mellor, J. W. (1927). A Comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry Vol. VII - Ti, Zr, Hf, Th, Ge, Sn, Pb, Inert Gases. VII, pp. 1–958.
- Morrison, B. J. and Musgrave, O. C. (2002). Condensations of benzil with phenols and aryl ethers mediated by tin (IV) chloride pentahydrate. *Tetrahedron*, 58(21), pp. 4255–4260. DOI: 10.1016/S0040-4020(02)00357-5.
- Negita, H., Okuda, T. and Mishima, M. (1969). The Bond Character of the Sn–Cl Bonds in the Hydrates of Tin (IV) Chloride. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 42(9). DOI: 10.1246/bcsj.42.2509.
- Pearce, J. and Wallace, T. (2015) Tin Chemicals Roadmap 2015.
- Santos, T. G., Silva, A. O. S. and Meneghetti, S. M. P. (2019). Comparison of the hydrothermal syntheses of Sn-magadiite using  $Na_2SnO_3$  and  $SnCl_4 \cdot 5H_2O$  as the precursors. *Applied Clay Science*, 183 (August), p. 105293. DOI: 10.1016/j.clay.2019.105293.
- Semenov, S. N. et al. (2005). Crystal structures of tin(IV) chloride hydrates. *Mendeleev Communications*, 15(5), pp. 205–207. DOI: 10.1070/MC2005v015n05ABEH002130.
- Sigma-Aldrich (no date). Tin (IV) chloride pentahydrate.
- Solís-Casados, D. et al. (2009). Characterization and Photocatalytic Performance of Tin Oxide. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(3), pp. 1249–1252. DOI: 10.1021/ie800604u.
- Svyatkina, L. I. et al. (1984). Polymerization of 10-vinyl phenothiazine in presence of thin chlorides. *Polymer Science U.S.S.R.*, 26(6), pp. 1314–1320. DOI: 10.1016/0032-3950(84)90041-8.
- Taylor, M. J., Milligan, J. R. and Parnell, D. L. (1972). Vibrational spectra of concentrated aqueous solutions and solvent extracts of the tin(IV) and antimony(V) chloride systems', *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry*. DOI: 10.1016/0022-1902(72)80145-3.
- Teli, M. D. (2015). Advances in the dyeing and printing of silk, *Advances in Silk Science and Technology*. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/B978-1-78242-311-9.00004-5.
- Wang, J. et al. (2020). One-pot synthesis and gas sensitivity of  $SnO_2$  nanoparticles prepared using two Sn salts of  $SnCl_4 \cdot 5H_2O$  and  $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ . *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 126(1), pp. 1–7. DOI: 10.1007/s00339-019-3230-4.
- Wang, M., Song, Z. and Liang, Y. (2010).  $SnCl_4 \cdot 5H_2O$ -Catalyzed Synthesis Of B-Amino Carbonyl Compounds Via A Direct Mannich-Type Reaction. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 41(1), pp. 1–6. DOI: 10.1080/10826068.2010.489008.
- Wang, Y. et al. (2017). Electrodeposition of tin coatings having enhanced corrosion resistance and anti-discoloration performance from tin (IV) sols. *Surface and Coatings Technology*, 331(Iv), pp. 90–96. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2017.10.033.
- Xi-an, M., Xiao-zeng, Y. and An-bang, D. (1989).  $^{119}Sn$  NMR spectra of  $SnCl_4 \cdot 5H_2O$  in  $H_2O/HCl$  solutions', *Inorganica Chimica Acta*. DOI: 10.1016/S0020-1693(00)83496-9.
- Yunnan, T. C. C. (no date). 2. Paten CN102849789A – Preparation method for stannic chloride pentahydrate, 2012.