

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Landasan Teori

##### 2.1.1 Kapal selam

Kapal selam memiliki sejarah panjang yang dimulai sejak abad ke-17, dengan rancangan awal oleh Cornelis Drebbel pada 1620 di Inggris, meskipun operasionalnya masih sangat terbatas. Kemajuan besar terjadi pada abad ke-19, ketika kapal selam mulai menggunakan mesin uap dan listrik, seperti yang digunakan oleh Perancis dan Amerika Serikat selama Perang Saudara. Kapal selam mulai mendapatkan peran strategis yang signifikan pada abad ke-20, terutama selama Perang Dunia I, di mana U-boat Jerman menjadi alat penghancur yang efektif, menenggelamkan banyak kapal logistik milik Sekutu. Perkembangan ini terus berlanjut pada Perang Dunia II, di mana kapal selam digunakan oleh berbagai negara, termasuk Jerman yang mendominasi Samudera Atlantik dan Amerika Serikat yang berhasil menghancurkan kapal-kapal Jepang di Pasifik. Kapal selam menjadi semakin canggih dengan penambahan teknologi sonar, torpedo berpandu, dan kemampuan menyelam lebih dalam serta lebih lama (Marsetio et al., 2018).

Di Indonesia, sejarah kapal selam dimulai pada era Operasi Trikora (1961-1962) ketika Angkatan Laut Republik Indonesia (TNI AL) menggunakan kapal selam kelas *Whiskey* yang dibeli dari Uni Soviet untuk menembus blokade laut Belanda di Papua. Keberhasilan ini mencatatkan kapal selam sebagai bagian penting dalam sejarah pertahanan maritim Indonesia. Setelah itu, perkembangan armada kapal selam mengalami pasang surut. Pada era 1980-an, Indonesia memperoleh kapal selam kelas 209/1300 buatan Jerman sebagai pengganti armada *Whiskey* yang usang. Kini, dengan peningkatan kemampuan industri dalam negeri, Indonesia telah mulai membangun kapal selam di PT PAL dengan teknologi transfer dari

Korea Selatan, seperti tipe *Chang Bogo*. Modernisasi ini memungkinkan TNI AL untuk memperkuat posisi strategisnya sebagai negara maritim yang besar (Siregar et al., 2022).

Keberadaan kapal selam di Indonesia sangat strategis mengingat posisi geografisnya yang menjadi jalur pelayaran utama dunia di antara Samudera Hindia dan Pasifik. Dengan garis pantai sepanjang lebih dari 80.000 kilometer dan wilayah perairan yang meliputi dua pertiga total luas wilayah, kapal selam menjadi alat utama sistem senjata strategis (alutsista) yang vital untuk menjaga kedaulatan negara. Kapal selam memberikan efek pencegahan (*deterrence effect*) yang kuat, terutama dalam menghadapi ancaman di perairan yurisdiksi nasional, seperti klaim tumpang tindih di Laut China Selatan yang melibatkan berbagai negara. Selain itu, kapal selam memiliki kemampuan multifungsi, mulai dari pengintaian dan pengawasan taktis, peperangan anti-kapal permukaan dan anti-kapal selam, hingga infiltrasi pasukan khusus dan operasi penyelamatan terbatas. Dalam konteks regional, keberadaan kapal selam Indonesia juga memberikan peran penting dalam menjaga stabilitas kawasan, menghadapi intensitas geopolitik antara Amerika Serikat dan China, serta meningkatkan kepercayaan diri Indonesia untuk memainkan peran kepemimpinan di Asia Pasifik (Prasetyo et al., 2017).

Sejarah panjang pengoperasian kapal selam di dunia membuktikan bahwa alutsista ini menjadi tolok ukur kekuatan maritim suatu negara. Pada Perang Dunia I dan II, kapal selam memainkan peran kunci dalam menguasai lautan dan memutus jalur logistik musuh. Di masa modern, kapal selam terus berevolusi dengan teknologi canggih, termasuk rudal balistik dan kemampuan *stealth* yang tinggi, menjadikannya senjata strategis yang tetap relevan. Indonesia, yang pernah memiliki armada kapal selam kelas *Whiskey* terbesar di Asia Tenggara pada 1960-an, kini berkomitmen untuk menghidupkan

kembali kejayaannya dengan memodernisasi armada kapal selam. Hal ini tidak hanya bertujuan untuk memperkuat pertahanan nasional tetapi juga untuk mendukung peran strategis Indonesia dalam menjaga perdamaian dan keamanan global (Marsetio et al, 2018). Dalam satu satuan kapal selam terdapat 53 kru kapal yang terdiri dari 49 ABK (Anak Buah Kapal), 3 kru personel senjata & 1 Komandan satuan.

### 2.1.2 Sistem respirasi manusia

Sistem respirasi manusia memiliki peran yang sangat penting dalam memastikan pertukaran gas yang optimal, yaitu oksigen ( $O_2$ ) dan ( $CO_2$ ), untuk memenuhi kebutuhan metabolisme tubuh. Proses ini sangat penting, terutama dalam lingkungan terbatas seperti kapal selam, di mana kualitas udara harus dijaga dengan ketat akibat keterbatasan sumber udara segar. Sistem respirasi manusia terdiri dari beberapa komponen utama seperti paru-paru, bronkus, trakea, dan diafragma, yang bekerja secara sinergis untuk mendukung pertukaran gas di dalam tubuh. Fungsi utama dari sistem respirasi adalah untuk mengalirkan oksigen ke dalam darah dan mengeluarkan karbon dioksida, produk sampingan dari metabolisme tubuh. Proses pertukaran gas ini terjadi di alveolus, yaitu kantong udara kecil di dalam paru-paru, di mana oksigen yang dihirup akan masuk ke dalam pembuluh darah dan mengikat hemoglobin, sementara karbon dioksida yang dihasilkan oleh sel-sel tubuh akan dikeluarkan melalui pernapasan. Di dalam kapal selam, sistem ventilasi dan penyaringan udara sangat penting untuk menjaga keseimbangan oksigen dan karbon dioksida. Oksigen yang diperlukan oleh awak kapal dihasilkan oleh sistem pembangkit oksigen atau biasa disebut dengan *Oxygen Generation System* (OGS) yang biasanya menggunakan proses elektrolisis atau reaksi kimia untuk menghasilkan oksigen dari air laut. Selain itu, sistem penyaringan  $CO_2$  ( $CO_2$  scrubbers) digunakan untuk menghilangkan

karbon dioksida yang dihasilkan oleh pernapasan kru kapal. Keseimbangan antara oksigen dan  $\text{CO}_2$  harus terus dipantau untuk mencegah keracunan oksigen atau akumulasi  $\text{CO}_2$  yang dapat membahayakan kesehatan kru. Oksigen merupakan unsur yang sangat vital untuk setiap sel tubuh, karena digunakan dalam proses metabolisme untuk menghasilkan energi. Pada kondisi istirahat, konsumsi oksigen manusia sekitar 250 mL per menit. Namun, kebutuhan oksigen ini dapat meningkat secara signifikan saat tubuh melakukan aktivitas fisik atau dalam situasi stres, yang sering terjadi di dalam kapal selam (Rodeheffer et al., 2018). Berikut adalah tabel kebutuhan oksigen yang didasarkan pada Tingkat aktivitas manusia secara umum:

**Tabel 2.1** Kebutuhan Oksigen

| Tingkat Aktivitas | Deskripsi Aktivitas                              | Kebutuhan Oksigen (mL/min) |
|-------------------|--------------------------------------------------|----------------------------|
| Istirahat         | Duduk atau berbaring tanpa aktivitas fisik       | 250–300 mL/min             |
| Ringan            | Berjalan santai, pekerjaan rumah tangga ringan   | 300–500 mL/min             |
| Sedang            | Jalan cepat, naik tangga, latihan aerobik ringan | 500–700 mL/min             |
| Berat             | Lari, bersepeda cepat, latihan intensif          | 700–1.200 mL/min           |
| Sangat berat      | Lari maraton, aktivitas fisik maksimal           | 1.200–1.800 mL/min         |

Sumber : (Rodeheffer et al., 2018)

**Keterangan:** Kebutuhan oksigen manusia dalam kapal selam diperkirakan sama dengan tingkat aktivitas fisik sedang – sangat berat

Dua parameter penting dalam sistem respirasi adalah volume tidal ( $V_t$ ) dan *Respiratory rate* (RR). Volume tidal merujuk pada jumlah

udara yang terhirup atau dihembuskan dalam satu kali pernapasan normal. Pada orang dewasa sehat, volume tidal rata-rata sekitar 500 mL per napas saat istirahat. RR adalah jumlah napas yang diambil per menit, yang biasanya berkisar antara 12 hingga 20 napas per menit pada orang dewasa yang sehat. Namun sama halnya seperti kebutuhan oksigen pada manusia,  $V_t$  dan RR pada manusia akan berbanding lurus dengan kebutuhan oksigen, Laju pernafasan dan Volume tidal pada kru kapal selam dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain tingkat aktivitas fisik, stres psikologis, serta kualitas udara di dalam kapal selam. Selama operasi militer panjang atau dalam situasi darurat, laju pernapasan bisa meningkat, sehingga kebutuhan oksigen akan meningkat. Dalam ruangan kapal selam yang tertutup sumber oksigen dan penyerapan karbon dioksida harus dilakukan secara bersamaan dalam kondisi yang optimal supaya mencegah terjadinya kegagalan sistem respirasi pada kru kapal (Liu et al., 2023).

### 2.1.3 Soda lime

Soda lime merupakan sediaan campuran dari Kalsium Hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), Natrium Hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) dan Kalium Hidroksida ( $\text{KOH}$ ). Sediaan ini biasanya berbentuk granul yang digunakan dalam lingkungan sirkulasi pernafasan seperti anastesi umum, sirkuit pernafasan, kapal selam, ruang hiperbarik dan habitat bawah air. Zat ini berfungsi untuk menyerap kandungan kadar karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) yang ada dalam lingkungan sirkulasi pernafasan karena xtingginya kadar  $\text{CO}_2$  pada lingkungan udara dapat membuat personel mengalami keracunan bagi yang menghirupnya (Silvanus et al., 2019). Pada umumnya komposisi *soda lime* mencakup 1–4% kalium hidroksida, 1–4% natrium hidroksida, sekitar 75% kalsium hidroksida, dan 14–18% air. Selain itu, penambahan alkali metal hidroksida, seperti kalium hidroksida dan natrium hidroksida, bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penyerapan karbon dioksida,

khususnya pada suhu rendah, serta memperbaiki sifat higroskopis absorber. Untuk meningkatkan stabilitas mekanik dan mengurangi pembentukan debu, sering ditambahkan bahan tambahan seperti silika, kieselguhr, atau zeolite (J. A. Baum & Woehlck, 2003).

Draeger sodalime tersedia dalam dua varian yang bisa dijadikan kontrol positif, yaitu Draeger 800 dan Draeger free. Kandungan Draeger 800 meliputi Natrium (1,56%), Magnesium (0,35%), Aluminium (0,03%), Silikon (0,04%), Sulfur (0,01%), Klorin (0,03%), Kalsium (36,37%), air (15,9%), dan Kalsium Hidroksida (76%). Sedangkan, Draeger free mengandung Natrium (0,42%), Magnesium (0,39%), Aluminium (0,79%), Silikon (0,05%), Sulfur (0,01%), Klorin (0,99%), Kalsium (37,45%), air (14,8%), dan Kalsium Hidroksida (76%) dengan satuan persen yang digunakan adalah persen berat (%b/b) (Derevshchikov & Kazakova, 2020).

Kandungan utama senyawa-senyawa kimia yang terdapat dalam sediaan *soda lime* yang akan dibuat dalam penelitian ini adalah:

- Kalsium Dihidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) :  $\pm 85\%$
- Natrium Hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) :  $\pm 3\%$
- Kalium Hidroksida ( $\text{KOH}$ ) :  $\pm 1\%$
- Air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) :  $\pm 11\%$

Dengan mekanisme reaksi *soda lime* dalam proses penyerapan  $\text{CO}_2$  adalah sebagai berikut:

- $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2(\text{aq})$  ( $\text{CO}_2$  terlarut dalam air)
- $\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaHCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{NaHCO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{NaOH}$

Kemampuan penyerapan  $\text{CO}_2$  dapat bervariasi tergantung dari formulasi yang dibuat oleh masing-masing formulator. Menurut Freys (1999a) Kemampuan daya serap *soda lime* adalah sebesar 20 L/100 gram, Daya serap ini dinilai lebih kecil daripada sediaan *Barium Hydroxide Lime* (campuran antara kalsium hidroksida dengan barium hidroksida) yang memiliki kemampuan daya serap  $\text{CO}_2$

sebesar 27 L/100 gram. *Soda lime* dipilih karena lebih aman daripada barium hidroksida. Hal ini disebabkan *Barium Hydroxide Lime* kering cenderung menghasilkan karbon monoksida yang lebih tinggi sehingga dapat menimbulkan efek neurotoksik dan kardiotoksik. *Barium Hydroxide Lime* juga lebih mudah terdekomposisi dan akan menjadi senyawa toksik serta memiliki stabilitas yang rendah dalam kondisi lembap (Freys, 1999a).

#### 2.1.4 Penggunaan *Soda lime* dalam Kapal Selam

Sistem sirkulasi udara pada kapal selam merupakan bagian integral dari sistem pendukung kehidupan yang berfungsi menjaga kualitas udara agar tetap aman dan layak dihirup selama operasi bawah laut dalam waktu yang lama. Secara umum, sistem ini terbagi menjadi tiga fungsi utama yakni ventilasi normal, ventilasi darurat, dan revitalisasi udara. Pada ventilasi normal, udara bersirkulasi dalam sistem tertutup (*recirculate mode/closed circuit system*) yang terisolasi sepenuhnya dari atmosfer luar, terutama saat kapal selam berada di bawah permukaan air. Sistem ini mencakup beberapa komponen penting, seperti filter elektrostatik untuk menghilangkan partikel mikro, filter karbon aktif untuk menyerap bau dan gas organik berbahaya, serta kontrol suhu dan kelembapan untuk menjaga kenyamanan dan kinerja optimal kru kapal serta peralatan elektronik di dalamnya. Dalam kondisi darurat, seperti kebakaran atau kebocoran gas beracun, ventilasi darurat digunakan untuk mengeluarkan udara tercemar melalui kipas tekanan rendah (*low pressure blower*) atau generator diesel, sementara udara bersih dari sistem revitalisasi mengisi kembali atmosfer kapal selam (Shadle, 1992).

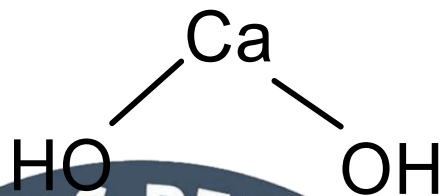
Salah satu aspek terpenting dalam sistem sirkulasi udara kapal selam adalah pengelolaan karbon dioksida yang dihasilkan dari pernapasan kru kapal. Dalam hal ini, *soda lime* menjadi bahan utama dalam *scrubber* CO<sub>2</sub> yang berfungsi menyerap gas tersebut melalui

reaksi kimia, sehingga menurunkan konsentrasi  $\text{CO}_2$  di udara. Proses ini membantu menjaga keseimbangan atmosfer di dalam kapal dan mencegah risiko keracunan akibat akumulasi  $\text{CO}_2$ , terutama saat kapal tidak dapat memperbarui udara dari lingkungan eksternal. Selain itu, sistem pernapasan darurat *Emergency Air Breathing System* (EABS) memberikan dukungan tambahan dalam situasi di mana kontaminasi udara memerlukan perlindungan langsung bagi kru kapal. Sistem ini menggunakan manifold yang terdistribusi di seluruh kapal untuk menyediakan akses cepat ke udara bersih. Dengan integrasi teknologi ventilasi, purifikasi, dan revitalisasi udara yang canggih, kapal selam mampu menjaga lingkungan udara yang mendukung kesehatan dan keselamatan kru kapal selama periode operasi bawah laut yang lama (Shadle, 1992).

#### 2.1.5 Kalsium Hidroksida

Kalsium hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) adalah senyawa kimia berbentuk serbuk kristal atau granular berwarna putih atau hampir putih yang memiliki rasa pahit dan sifat alkali (Departemen Kesehatan RI, 2020). Senyawa ini secara luas digunakan dalam berbagai aplikasi farmasi dan teknologi, terutama karena sifatnya sebagai agen pengatur pH, astringen, dan zat terapeutik. Dalam formulasi farmasi, kalsium hidroksida sering digunakan sebagai antasida dalam bentuk larutan air (lime water) untuk krim, losion, salep, dan suspensi. Selain itu, kalsium hidroksida dapat bereaksi dengan asam lemak membentuk sabun kalsium yang berguna dalam menghasilkan emulsi air-dalam-minyak (Raymond C et al., 2009). Di Indonesia, sumber utama kalsium hidroksida berasal dari hasil pengolahan batu kapur (kalsium karbonat,  $\text{CaCO}_3$ ), yang banyak ditemukan di daerah pegunungan kapur seperti di Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Sumatera. Proses penambangan batu kapur melibatkan ekstraksi batuan kapur dari tambang terbuka, yang kemudian dihancurkan, dibakar, dan dihidrasi untuk menghasilkan kalsium hidroksida.

Beberapa perusahaan yang bergerak dalam industri ini, seperti PT. Bukit Batu Mustika di Sukabumi dan PT. Niraku Jaya Abadi di Jawa Timur, telah menjadi produsen utama dalam pengolahan dan distribusi kalsium hidroksida di Indonesia.



Gambar 2.1 Struktur Kalsium Hidroksida

Sumber : Diolah oleh peneliti

Secara kimia, kalsium hidroksida memiliki berat molekul 74,1 dan bersifat higroskopis. Pada larutan jenuh, pH-nya mencapai 12,4, menunjukkan sifat basa yang kuat. Kalsium hidroksida larut dalam gliserol, larutan klorida amonium, dan sebagian larut dalam air (1 bagian dalam 600 air pada suhu kamar, tetapi lebih sulit larut dalam air panas). Sebaliknya, senyawa ini tidak larut dalam etanol. Ketika terpapar karbon dioksida, kalsium hidroksida dengan cepat membentuk kalsium karbonat (Raymond C et al., 2009).

Senyawa ini diproduksi melalui proses hidrasi kalsium oksida (CaO), yang dikenal sebagai proses *saking*. Dari segi stabilitas, kalsium hidroksida harus disimpan dalam wadah kedap udara di tempat yang sejuk, kering, dan berventilasi baik untuk mencegah reaksi dengan kelembapan atau karbon dioksida di udara. Kalsium hidroksida juga dapat disterilkan dengan pemanasan pada suhu minimal 160°C selama satu jam. Meskipun digunakan secara luas, kalsium hidroksida bersifat korosif dan dapat menyebabkan iritasi pada kulit, mata, serta saluran pernapasan jika terpapar dalam bentuk murni. Oleh karena itu, penanganannya memerlukan tindakan pencegahan seperti menggunakan sarung tangan, pelindung mata, respirator, dan pakaian pelindung. Dalam formulasi farmasi, kalsium hidroksida

dianggap aman untuk digunakan secara oral atau topikal dengan batas paparan yang diizinkan sebesar 5 mg/m<sup>3</sup> untuk fraksi respirasi menurut standar OSHA (J. Baum & Van Aken, 2000).

Keunggulan kalsium hidroksida dalam *soda lime* terletak pada sifat basanya yang kuat, yang memungkinkan senyawa ini bereaksi dengan CO<sub>2</sub> bahkan dalam konsentrasi rendah, menghasilkan penghilangan gas yang cepat dan efektif. Selain itu, kalsium hidroksida memiliki kemampuan untuk bertahan dalam kondisi operasi jangka panjang, menjadikannya bahan yang ideal untuk digunakan dalam sistem pernapasan tertutup seperti mesin anestesi, alat penyelam, dan perangkat lainnya yang memerlukan penyerapan CO<sub>2</sub> untuk menjaga keseimbangan udara pernapasan. Kalsium hidroksida juga relatif murah, stabil, dan mudah diproduksi, menjadikannya pilihan utama dalam formulasi *soda lime* untuk aplikasi medis dan industri (Higuchi et al., 2001).

#### 2.1.6 Natrium Hidroksida

Natrium hidroksida (NaOH), dikenal juga sebagai soda kaustik, adalah senyawa kimia berbentuk padatan putih yang sangat higroskopis dan bersifat alkalis kuat. Secara kimia, natrium hidroksida memiliki berat molekul 40 g/mol dan sangat mudah larut dalam air, menghasilkan larutan dengan pH tinggi yang menunjukkan sifat basa kuat. Senyawa ini tidak larut dalam etanol dan eter. Karena sifatnya yang higroskopis, natrium hidroksida harus disimpan dalam wadah kedap udara untuk mencegah penyerapan kelembapan dan karbon dioksida dari udara, yang dapat membentuk natrium karbonat (Departemen Kesehatan RI, 2020). Meskipun memiliki banyak aplikasi, natrium hidroksida bersifat korosif dan dapat menyebabkan iritasi pada kulit, mata, serta saluran pernapasan jika terpapar. Oleh karena itu, penanganannya memerlukan tindakan pencegahan seperti penggunaan sarung tangan, pelindung mata, dan pakaian pelindung. Dalam industri

farmasi, penggunaan natrium hidroksida diatur dengan ketat untuk memastikan keamanan produk akhir (Neumann et al., 1999).



**Gambar 2.2** Struktur NaOH

Sumber : Diolah oleh peneliti

Dalam proses kerja soda lime, natrium hidroksida berperan sebagai katalis yang mempercepat reaksi kimia antara karbon dioksida dan kalsium hidroksida untuk membentuk kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dan air. Reaksi ini berlangsung dalam dua tahap, yaitu reaksi awal di mana  $\text{CO}_2$  bereaksi dengan NaOH membentuk natrium bikarbonat dan reaksi lanjutan di mana  $\text{NaHCO}_3$  bereaksi dengan kalsium hidroksida menghasilkan  $\text{CaCO}_3$ , NaOH, dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Kehadiran NaOH dalam formulasi soda lime memberikan sejumlah keunggulan penting. Pertama, NaOH meningkatkan efisiensi penyerapan  $\text{CO}_2$  karena reaksi kimia berlangsung lebih cepat dan efektif bahkan pada konsentrasi gas yang rendah. Kedua, NaOH membantu menjaga stabilitas soda lime selama penggunaan jangka panjang dengan mempertahankan sifat kimia yang mendukung reaksi berulang. Ketiga, NaOH memungkinkan formulasi soda lime digunakan secara aman dan efektif dalam lingkungan medis, terutama dalam sistem pernapasan tertutup seperti mesin anestesi, di mana pengendalian gas pernapasan sangat penting untuk keselamatan pasien (Derevshchikov & Kazakova, 2020). Namun, karena sifatnya yang korosif, penggunaan natrium hidroksida dalam soda lime harus diatur dengan proporsi yang tepat untuk mencegah risiko iritasi pada kulit, mata, atau saluran pernapasan. Selain itu, formulasi soda lime yang mengandung NaOH perlu disimpan dalam wadah kedap udara untuk menghindari kontaminasi dengan kelembapan atau karbon dioksida dari lingkungan, yang dapat mengurangi efektivitasnya (J. Baum & Van Aken, 2000).

### 2.1.7 Kalium Hidroksida

Kalium hidroksida, atau potasium hidroksida, adalah senyawa kimia berbentuk padatan putih yang sangat higroskopis dan bersifat basa kuat. Dalam formulasi soda lime, KOH sering ditambahkan bersama dengan natrium hidroksida untuk meningkatkan efisiensi penyerapan karbon dioksida (Departemen Kesehatan RI, 2020). Soda lime sendiri merupakan campuran utama dari kalsium hidroksida dengan tambahan basa kuat seperti NaOH dan KOH. Penambahan KOH dalam soda lime berfungsi sebagai katalis yang mempercepat reaksi antara  $\text{CO}_2$  dan kalsium hidroksida, sehingga meningkatkan kapasitas dan kecepatan penyerapan  $\text{CO}_2$ . Namun, penelitian menunjukkan bahwa eliminasi NaOH dan KOH dari soda lime yang telah mengalami dehidrasi dapat mengurangi degradasi anestesi inhalasi seperti desflurane menjadi karbon monoksida, tanpa mengurangi kemampuan penyerapan  $\text{CO}_2$  secara signifikan (Derevshchikov & Kazakova, 2020).



**Gambar 2.3** Struktur Kalium Hidroksida

Sumber : Diolah oleh peneliti

Meskipun memiliki banyak aplikasi, kalium hidroksida bersifat korosif dan dapat menyebabkan iritasi pada kulit, mata, serta saluran pernapasan jika terpapar. Oleh karena itu, penanganannya memerlukan tindakan pencegahan seperti penggunaan sarung tangan, pelindung mata, dan pakaian pelindung. Dalam formulasi soda lime, proporsi KOH harus diatur dengan tepat untuk memastikan efisiensi penyerapan  $\text{CO}_2$  tanpa menimbulkan risiko tambahan (Departemen Kesehatan RI, 2020).

### 2.1.8 Karbon dioksida



**Gambar 2.4** Struktur Karbon dioksida

Sumber : Diolah oleh peneliti

Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan secara alami terdapat di atmosfer dengan konsentrasi rata-rata sekitar 400 ppm. Dalam lingkungan tertutup seperti kapal selam, konsentrasi  $\text{CO}_2$  dapat meningkat dengan cepat akibat aktivitas metabolisme manusia, seperti pernapasan, yang menghasilkan  $\text{CO}_2$  sebagai produk akhir. Dalam kondisi ini, pengelolaan kadar  $\text{CO}_2$  menjadi faktor yang sangat penting untuk memastikan keselamatan dan kenyamanan awak kapal. Lingkungan kapal selam dirancang untuk mendukung kehidupan dalam jangka waktu yang lama tanpa akses ke udara segar dari luar. Sistem udara yang tertutup, terbatasnya ventilasi, dan aktivitas fisik awak kapal dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi  $\text{CO}_2$  secara signifikan. Tanpa mekanisme kontrol yang tepat, paparan karbon dioksida pada lingkungan kapal selam dapat memberikan dampak serius terhadap kesehatan kru, termasuk gangguan fungsi fisiologis, penurunan kognitif, bahkan risiko kegagalan sistem respirasi (Jacobson et al., 2019).

Kapal selam sering kali dioperasikan dalam situasi di mana konsentrasi  $\text{CO}_2$  tidak dapat dengan mudah dilepaskan ke lingkungan luar. Peningkatan konsentrasi  $\text{CO}_2$  dalam ruang tertutup semacam ini dapat berdampak langsung pada kesehatan dan performa kru. Penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi  $\text{CO}_2$  sebesar 1.000–2.500 ppm, yang dapat dengan mudah dicapai dalam kapal selam tanpa kontrol aktif, mampu menyebabkan gangguan konsentrasi, pengambilan keputusan yang buruk, dan kelelahan. Dalam jangka panjang, paparan konsentrasi  $\text{CO}_2$  yang lebih tinggi, seperti 5.000 ppm atau lebih, dapat menyebabkan gejala yang lebih berat, termasuk sakit kepala parah, mual, dan gangguan pernapasan. Lebih jauh, paparan  $\text{CO}_2$  pada konsentrasi di atas 10.000 ppm, yang dapat terjadi dalam situasi darurat seperti

kerusakan sistem kontrol atmosfer, meningkatkan risiko kehilangan kesadaran atau bahkan kematian dalam waktu singkat akibat hipoksia (Anderson et al., 2016). Risiko ini semakin tinggi jika tidak ada sistem mitigasi yang memadai, seperti penyerap CO<sub>2</sub> (*scrubber*) yang efektif. Berikut adalah table bahaya paparan CO<sub>2</sub>:

**Tabel 2.2** Bahaya paparan karbon dioksida



| Konsentrasi CO <sub>2</sub> | Lama Waktu Paparan    | Efek Paparan                                                                           |
|-----------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 400-1.000                   | Lama (> beberapa jam) | Tidak ada efek signifikan; konsentrasi normal di udara.                                |
| 1.000 – 2.500               | Sedang hingga lama    | Penurunan performa kognitif, gangguan konsentrasi, dan perasaan tidak nyaman.          |
| 2.500 – 5.000               | Sedang hingga lama    | Sakit kepala ringan, rasa lelah, dan efisiensi kerja menurun.                          |
| 5.000 – 10.000              | Singkat hingga sedang | Sakit kepala berat, peningkatan laju pernapasan, dan gangguan fisiologis lebih serius. |
| >10.000                     | Singkat (< 1 jam)     | Kehilangan kesadaran akibat hiperkapnia dan hipoksia, berisiko                         |

| Konsentrasi CO <sub>2</sub> | Lama Waktu Paparan              | Efek Paparan                                                                                   |
|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             |                                 | fatal tanpa intervensi segera.                                                                 |
| >40.000                     | Sangat singkat (beberapa menit) | Risiko kematian karena gagal napas atau kegagalan fungsi kardiovaskular akibat hipoksia berat. |

Sumber : (Rodeheffer et al., 2018)

**Keterangan:** Tabel menunjukkan jumlah kadar paparan CO<sub>2</sub> dalam kurun waktu tertentu mulai dari paparan yang rendah hingga paparan yang paling berbahaya

Menurut Freys (1999) daya serap karbon dioksida dalam 100 gram soda lime adalah 20L. Pada satuan kapal selam yang ada di Indonesia seperti pada contohnya KRI Nanggala 402 terdapat 53 kru kapal selam, apabila setiap kru memiliki laju produksi CO<sub>2</sub> sekitar 1,6L/menit maka sama dengan 96L/jam. Apabila terdapat 53 kru kapal maka sama dengan 5088L/jam CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh semua kru kapal. Memutuskan 25,440 Kg sodalime dalam tiap jam. Apabila masa jenuh dari soda lime adalah 4 jam (Ohm et al., 1991), Maka dalam waktu 1 hari membutuhkan 152,64 Kg Sediaan soda lime & 4,6 Ton Sodalime dalam waktu 1 bulan.

#### 2.1.9 Pelet

Sediaan pelet adalah bentuk sediaan farmasi padat yang terdiri dari butiran kecil atau bola dengan ukuran biasanya antara 0,5 hingga 2 mm. Pelet ini umumnya dibuat dengan tujuan untuk mengontrol pelepasan zat aktif secara terarah (*controlled release*) dalam tubuh. Proses pembuatan pelet melibatkan beberapa tahap, antara lain pencampuran bahan aktif dengan eksipien, pembentukan pelet,

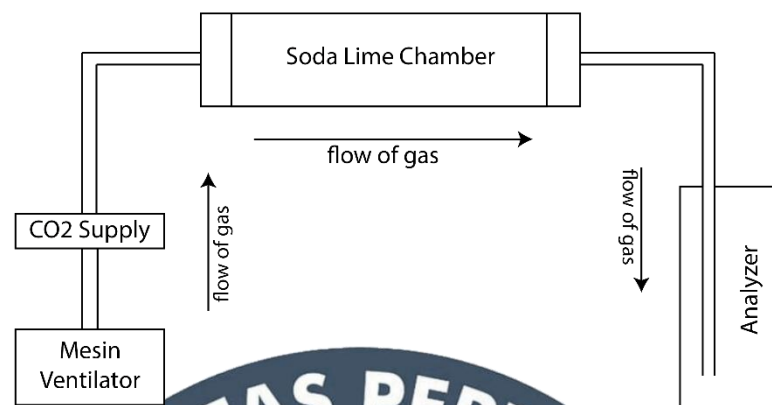
pengeringan, dan pemadatan. Salah satu teknik pembuatan pelet yang paling umum adalah ekstrusi-sferonisasi (*extrusion-spheronization*). Ekstrusi-sferonisasi merupakan metode yang melibatkan dua tahap utama: ekstrusi dan sferonisasi. Dalam tahap ekstrusi, campuran bahan aktif dan eksipien dimasukkan ke dalam alat ekstruder, yang menghasilkan massa yang terkompresi dalam bentuk strip atau batang panjang. Pada tahap berikutnya, strip ini dipotong menjadi pelet kecil melalui proses sferonisasi, di mana massa tersebut diputar dalam sferonizer, menghasilkan pelet bulat dengan ukuran yang lebih seragam. Kelebihan dari teknik ini adalah kemampuannya untuk menghasilkan pelet dengan distribusi ukuran yang konsisten dan kontrol yang lebih baik terhadap pelepasan obat dibandingkan dengan metode tradisional lainnya. Pelet ini juga dapat dibuat dengan berbagai jenis eksipien, memberikan fleksibilitas yang lebih besar dalam formulasi obat (Jadhav et al., 2024).

Dalam formulasi kali ini peneliti memilih pembuatan bentuk pelet karena alasan bahwa bentuk pelet memiliki ukuran yang lebih kecil daripada tablet, hal ini membuat luas permukaan yang nantinya akan dilewati oleh  $\text{CO}_2$  menjadi lebih luas. Dengan luas permukaan yang lebih luas dilewati, diharapkan gas  $\text{CO}_2$  yang terserap atau bereaksi dengan sediaan *soda lime* akan semakin banyak dan semakin efektif. Selain itu, sediaan dalam bentuk pelet masih memiliki beberapa kekurangan antaralain proses produksi yang rumit dan biaya tinggi pembuatan pelet, terutama melalui teknik ekstrusi-sferonisasi, membutuhkan peralatan canggih dan pengaturan yang ketat dalam setiap tahap, yang dapat meningkatkan biaya produksi. Teknik ini juga membutuhkan waktu dan tenaga kerja yang lebih banyak dibandingkan dengan pembuatan tablet. Kemudian pelet lebih rentan terhadap kerusakan fisik dibandingkan dengan tablet. Pelet yang pecah atau rusak bisa mempengaruhi kestabilan dan konsistensi penyerapan karbon dioksida. Pengemasan yang cermat

diperlukan untuk menjaga integritas fisik pelet (Isaac Ghebre-Sellassie, 2010).

#### 2.1.10 Evaluasi Penyerapan Karbon dioksida

Evaluasi penyerapan karbon dioksida dilakukan untuk membandingkan antara produk inovator dengan produk lain atau produk yang akan diproduksi. Tujuan dari evaluasi ini sendiri adalah untuk menilai efektivitas kemampuan *soda lime* dalam menyerap gas CO<sub>2</sub>. Secara spesifik evaluasi ini meliputi pengukuran seberapa banyak CO<sub>2</sub> dapat diserap oleh *soda lime* dalam kondisi tertentu, yang penting untuk memastikan bahwa alat atau sistem yang menggunakan *soda lime* dapat berfungsi secara optimal dalam mengurangi kadar CO<sub>2</sub>. Dengan mengevaluasi penyerapan CO<sub>2</sub>, penting untuk memastikan bahwa sediaan *soda lime* memenuhi standar kualitas dan keamanan yang diperlukan, terutama dalam kapal selam yang memiliki lingkungan udara tertutup di mana kelebihan CO<sub>2</sub> dapat berbahaya bagi kru kapal. Selain memastikan kualitas yang memenuhi standart asil evaluasi dapat digunakan untuk mengoptimalkan penggunaan *soda lime* dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam sistem pernapasan buatan dan ruang tertutup, dengan cara menentukan kadar atau jumlah yang tepat untuk mencapai efisiensi maksimal dalam penyerapan CO<sub>2</sub> (Harvey et al., 2016).



**Gambar 2.5** Simulasi evaluasi daya serap karbon dioksida

Sumber : (Harvey et al., 2016)

**Keterangan:** Proses Uji daya serap karbon dioksida mulai dari mesin ventilator sebagai pendorong udara lalu bergerak ke tempat suplai karbon dioksida, melewati chamber yang berisi sediaan *Soda Lime* lalu terakhir menuju analyzer.

Evaluasi daya serap  $\text{CO}_2$  *soda lime* dilakukan melalui serangkaian langkah yang melibatkan beberapa komponen utama untuk mensimulasikan pernapasan manusia. Pertama, mesin ventilasi digunakan untuk menghasilkan aliran udara dengan parameter yang menyerupai pola pernapasan manusia, seperti  $V_t$  dan RR. Udara yang mengandung  $\text{CO}_2$  ini kemudian diteruskan melalui *soda lime*, sebuah bahan yang memiliki kemampuan untuk menyerap gas  $\text{CO}_2$  melalui reaksi kimia, mengubahnya menjadi kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). Selama proses ini, *Gas Analyzer* berfungsi untuk mengukur konsentrasi  $\text{CO}_2$  dalam aliran udara, baik sebelum maupun setelah udara melewati *soda lime*, untuk memantau seberapa efektif *soda lime* dalam menyerap gas tersebut. Perangkat lunak mengolah informasi yang dikumpulkan dari sensor  $\text{CO}_2$ , menghasilkan grafik atau tabel yang mempermudah evaluasi penyerapan *soda lime*. Pada akhirnya, evaluasi daya serap dilakukan pengukur gas, yang menunjukkan seberapa efektif *soda*

*lime* dalam menyerap  $\text{CO}_2$  selama simulasi pernapasan (Anderson et al., 2016).

#### 2.1.11 Gravimetri

Metode gravimetri merupakan salah satu metode analisis kuantitatif dalam kimia yang digunakan untuk menentukan kadar suatu zat berdasarkan pengukuran massa. Dalam prinsip dasarnya, metode ini melibatkan penimbangan massa suatu bahan sebelum dan sesudah mengalami perubahan akibat interaksi kimia atau fisik tertentu. Pada umumnya, metode gravimetri diterapkan dalam bentuk pengendapan (presipitasi), penguapan (volatilisasi), atau elektrodposisi. Dalam konteks penelitian ini, metode gravimetri digunakan secara langsung untuk menganalisis kemampuan bahan penyerap (absorber) seperti soda lime dalam menangkap gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) (Khramtsov et al., 2021). Prinsip yang diterapkan adalah bahwa sediaan yang bersifat aktif terhadap  $\text{CO}_2$  akan mengalami penambahan massa setelah terpapar gas tersebut, akibat terbentuknya senyawa hasil reaksi antara gas dan komponen aktif dalam absorber. Dengan demikian, perbedaan massa sediaan sebelum dan sesudah paparan  $\text{CO}_2$  mencerminkan jumlah gas yang berhasil diserap (Whittamore et al., 2016). Dalam praktiknya, sediaan terlebih dahulu ditimbang dalam keadaan kering untuk memperoleh massa awal yang akurat. Selanjutnya, sediaan tersebut diletakkan dalam alat uji seperti tabung absorber dan dialiri gas karbon dioksida dalam kondisi terkendali, baik dari segi waktu, suhu, maupun aliran gas. Setelah proses penyerapan selesai, sediaan kembali ditimbang untuk memperoleh massa akhir. Selisih antara massa akhir dan massa awal merupakan indikasi kuantitatif dari jumlah karbon dioksida yang berhasil diserap (Wang et al., 2016). Metode ini sangat sesuai untuk mengkaji efektivitas bahan penyerap karena selain bersifat sederhana dan tidak memerlukan reagen tambahan, juga mampu memberikan hasil yang akurat dengan

ketelitian tinggi asalkan dilakukan dengan prosedur penimbangan yang cermat dan terkendali. Penggunaan metode gravimetri berbasis perubahan massa ini sangat relevan dalam pengujian kemampuan daya serap soda lime, khususnya dalam aplikasi yang membutuhkan sistem penyerapan gas karbon dioksida secara efisien, seperti pada sistem pernapasan tertutup di kapal selam saat operasi dan latihan (Al-Amiery et al., 2023).

#### 2.1.12 Kalsinasi

Kalsinasi merupakan salah satu tahapan penting dalam proses kimiawi pembuatan bahan penyerap gas, termasuk dalam produksi soda lime. Secara umum, kalsinasi didefinisikan sebagai proses pemanasan bahan padat pada suhu tinggi dalam kondisi atmosfer terbatas atau non-reaktif, dengan tujuan untuk menghilangkan kandungan zat volatil, mengubah fase kristalin, serta menghasilkan senyawa oksida yang bersifat lebih aktif secara kimia (Ahmed et al., 2025). Dalam konteks pembuatan soda lime, proses kalsinasi digunakan untuk mengonversi senyawa kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) menjadi kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) melalui reaksi dekomposisi termal (Suhardin et al., 2018). Reaksi ini berlangsung pada suhu antara  $850\text{--}950\text{ }^\circ\text{C}$  dan menghasilkan gas karbon dioksida sebagai produk sampingan yang dilepaskan ke atmosfer, sedangkan padatan kalsium oksida terbentuk sebagai residu padat yang bersifat higroskopis dan sangat reaktif.

Kalsium oksida hasil kalsinasi kemudian direaksikan dengan air dalam tahap hidrasi untuk membentuk kalsium hidroksida ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), yang merupakan salah satu komponen aktif utama dalam formulasi soda lime. Senyawa ini berperan penting dalam mekanisme penyerapan karbon dioksida melalui reaksi netralisasi asam-basa yang menghasilkan endapan kalsium karbonat kembali. Oleh karena itu, keberhasilan pembentukan  $\text{CaO}$  melalui proses kalsinasi sangat menentukan efisiensi akhir dari soda lime sebagai media penyerap

gas. Selain menghasilkan senyawa aktif, kalsinasi juga berperan dalam mengontrol struktur fisik absorber, seperti porositas, ukuran butir, dan luas permukaan spesifik, yang semuanya berkontribusi terhadap performa penyerapan  $\text{CO}_2$  (Kuntum Khaira, 2011).

Kualitas dan konsistensi proses kalsinasi sangat berpengaruh terhadap sifat akhir dari soda lime. Jika proses dilakukan pada suhu yang terlalu rendah, dekomposisi kalsium karbonat tidak berlangsung sempurna sehingga menghasilkan  $\text{CaO}$  dalam jumlah yang terbatas. Sebaliknya, jika suhu terlalu tinggi, dapat terjadi *sintering* atau penggabungan partikel-partikel  $\text{CaO}$  menjadi agregat yang lebih besar, sehingga menurunkan luas permukaan dan menghambat aksesibilitas molekul  $\text{CO}_2$  ke situs aktif penyerap (Zahra et al., 2026). Oleh karena itu, pengendalian suhu, waktu pemanasan, serta atmosfer pemanasan menjadi faktor penting yang harus dioptimalkan dalam tahap ini.

Dalam aplikasi praktis, khususnya pada sistem penyerapan karbon dioksida di lingkungan tertutup seperti kapal selam atau sistem pemapasan darurat, soda lime dituntut untuk memiliki daya serap tinggi, waktu reaksi cepat, serta kestabilan selama penyimpanan dan penggunaan. Untuk mencapai karakteristik tersebut, proses kalsinasi yang tepat dan terkontrol menjadi syarat utama. Selain menghasilkan  $\text{CaO}$  aktif, kalsinasi yang baik juga mampu menghasilkan bahan dengan struktur mikro yang mendukung reaksi difusi dan kontak antara gas  $\text{CO}_2$  dengan permukaan penyerap. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa proses kalsinasi tidak hanya berfungsi sebagai tahap awal pembentukan senyawa aktif, tetapi juga berperan strategis dalam menentukan kualitas fungsional dan efisiensi operasional dari soda lime sebagai media penyerap karbon dioksida (Kasi et al., 2025).

### 2.1.13 Studi Preformulasi

#### 2.1.13.1 Natrium Hidroksida

**Tabel 2.3** Studi Preformulasi Natrium Hidroksida

|                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Berat Molekul  | 40,00                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Struktur       | $\text{Na}-\text{O}-\text{H}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Pemerian       | Putih atau praktis putih, massa melebur, berbentuk pelet kecil, serpihan atau batang atau bentuk lain. Keras, rapuh dan menunjukkan pecahan hablur. Jika terpapar di udara, akan cepat menyerap karbon dioksida dan lembab.                                                                                                             |
| Kelarutan      | Ethanol dapat melarutkan dengan perbandingan 1 dalam 7,2, sedangkan Ether praktis tidak dapat melarutkan. Glycerin merupakan pelarut yang baik, sementara Methanol mampu melarutkan dengan perbandingan 1 dalam 4,2. Air berfungsi sebagai pelarut dengan perbandingan 1 dalam 0,9, yang meningkat menjadi 1 dalam 0,3 pada suhu 100°C. |
| Bobot Jenis    | 2,13 g/cm <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Inkompabilitas | Natrium hidroksida merupakan basa kuat dan tidak cocok dengan senyawa                                                                                                                                                                                                                                                                   |

|  |                                                                                                                                                      |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | apa pun yang mudah mengalami hidrolisis atau oksidasi. Natrium hidroksida akan bereaksi dengan asam, ester, dan eter, terutama dalam larutan berair. |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Sumber : Raymond C et al. (2009)

### 2.1.13.2 Kalium Hidroksida

**Tabel 2.4** Studi Preformulasi Kalium Hidroksida

|               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Berat Molekul | 56,11                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Struktur      | $K-O-H$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Pemerian      | massa padat berwarna putih atau hampir putih yang memiliki berbagai bentuk seperti pelet kecil, serpihan, batang, dan bentuk lainnya. memiliki sifat keras, rapuh, dan memperlihatkan pola patahan yang menyerupai kristal. bersifat higroskopis, mudah mencair dan menyerap uap air serta karbon dioksida dari udara, yang kemudian membentuk kalium karbonat. |
| Kelarutan     | Kelarutan pada pelarut berikut diukur pada suhu 20°C, kecuali dinyatakan lain: Ethanol (95%) melarutkan dengan perbandingan 1 dalam 3, Ether praktis tidak larut, Glycerin melarutkan dengan perbandingan 1 dalam 2,5, sedangkan Air melarutkan dengan                                                                                                          |

|                |                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                | perbandingan 1 dalam 0,9 pada suhu 20°C, dan meningkat menjadi 1 dalam 0,6 pada suhu 100°C.                                                                                                                            |
| Bobot Jenis    | 2,04 g/cm <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                 |
| Inkompabilitas | tidak cocok dengan senyawa apa pun yang mudah mengalami hidrolisis atau oksidasi. Tidak boleh disimpan dalam wadah kaca atau aluminium, dan akan bereaksi dengan asam, ester, dan eter, terutama dalam larutan berair. |

Sumber : Raymond C et al. (2009)

### 2.1.13.3 Aerosil

**Tabel 2.5** Studi Preformulasi Aerosil

|                |                                                                                                                                                                      |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Berat Molekul  | 60,08                                                                                                                                                                |
| Struktur       | $O=Si=O$                                                                                                                                                             |
| Pemerian       | Serbuk putih, ringan, tidak berbau, tidak berasa                                                                                                                     |
| Kelarutan      | Praktis tidak larut dalam pelarut organik, air, dan asam, kecuali asam fluorida; larut dalam larutan alkali panas hidroksida<br>Membentuk dispersi koloid dengan air |
| Bobot Jenis    | 0.029–0.042 g/cm <sup>3</sup>                                                                                                                                        |
| Inkompabilitas | Enalapril maleat                                                                                                                                                     |

Sumber : Raymond C et al. (2009)

### 2.1.13.4 Aquadestillata

**Tabel 2.6** Studi Preformulasi Aquadestilata

|               |       |
|---------------|-------|
| Berat Molekul | 18.02 |
|---------------|-------|

|                |                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Struktur       | $\text{H—O—H}$                                                                                                                                                                                                                             |
| Pemerian       | cairan bening, tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa.                                                                                                                                                                             |
| Kelarutan      | -                                                                                                                                                                                                                                          |
| Bobot Jenis    | 1,00 g/cm <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                     |
| Inkompabilitas | Air dapat menyebabkan hidrolisis bahan farmasi, bereaksi dengan logam alkali, oksida logam alkali tanah, garam anhidrat, dan beberapa senyawa organik, sehingga memicu inkompatibilitas yang merusak stabilitas dan efektivitas formulasi. |

Sumber : Raymond C et al. (2009)



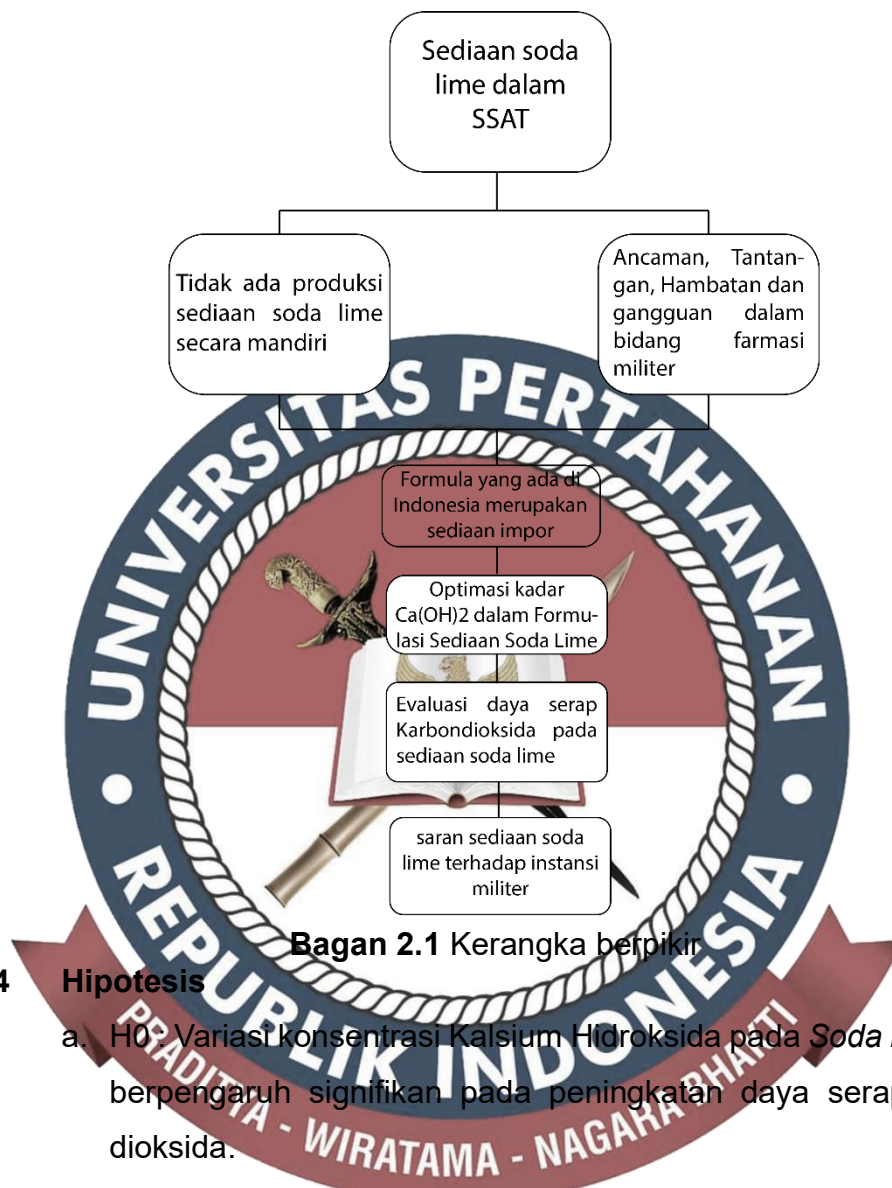
## 2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

**Tabel 2.7** Penelitian Terdahulu

| Judul                                                                                                        | Hasil                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Referensi             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <i>Performance of Cartridge and Granular Carbon Dioxide Absorbents in a Closed-Circuit Diving Rebreather</i> | Penelitian ini membandingkan kinerja cartridge <b>ExtendAir®</b> dengan granular <i>soda lime</i> <b>Sofnolime® 797</b> sebagai penyerap karbon dioksida (CO <sub>2</sub> ) dalam sistem rebreather sirkuit tertutup <i>O<sub>2</sub>ptima</i> untuk penyelaman. menunjukkan durasi penyerapan CO <sub>2</sub> yang serupa, dengan keunggulan kecil <b>ExtendAir®</b> pada protokol tertentu.                                                             | (Gant et al., 2019)   |
| <i>The Duration of Two Carbon Dioxide Absorbents in a Closed-Circuit Rebreather Diving System</i>            | membandingkan efikasi dua penyerap karbon dioksida ( <b>Sofnolime® 797</b> dan <b>Spherasorb™</b> ) dalam sistem rebreather sirkuit tertutup <i>Inspiration™</i> . Dalam kondisi simulasi kerja 6 MET, <b>Sofnolime® 797</b> menunjukkan durasi penyerapan CO <sub>2</sub> lebih lama (202 menit) dibandingkan <b>Spherasorb™</b> (138 menit), dengan perbedaan signifikan dalam durasi (32%) dan tekanan pernapasan (10% lebih rendah untuk Spherasorb). | (Harvey et al., 2016) |
| <i>Evaluation of</i>                                                                                         | <i>Soda lime</i> memiliki peran                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | (Hardt et al.,        |

| Judul                                                                                                                                                                                                      | Hasil                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Referensi                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| <p><i>Submarine Atmospheres: Effects of Carbon Monoxide, Carbon Dioxide and Oxygen on General Toxicology, Neurobehavioral Performance, Reproduction and Development in Rats. I. Subacute Exposures</i></p> | <p>penting dalam penyerapan CO<sub>2</sub> pada lingkungan kapal selam, selain efektifitas dari <i>soda lime</i> pengelolaan kadar gas yang tepat sangat penting untuk mencegah dampak kesehatan jangka panjang akibat akumulasi CO<sub>2</sub>. Keberhasilan <i>soda lime</i> dalam mengurangi kadar CO<sub>2</sub> di ruang terbatas menjadi kunci dalam menjaga kesehatan kru kapal selam yang terpapar gas tersebut dalam jangka waktu lama. Secara keseluruhan, daya serap CO<sub>2</sub> oleh <i>soda lime</i> dipengaruhi oleh berbagai faktor teknis seperti jenis <i>soda lime</i> yang digunakan, karakteristik fisik material, serta pengaturan aliran gas dalam sistem.</p> | <p>2015)</p>                |
| <p>Peningkatan Kemampuan Daya Serap CO<sub>2</sub> Pada Alat Selam <i>Closed Circuit</i></p>                                                                                                               | <p>Melakukan penelitian terkait perbedaan formulasi Ca(OH)<sub>2</sub> yang dibandingkan dengan Produk Inovator yang telah beredar di lingkungan TNI AL. Perbandingan ini menghasilkan kadar produk formulator yang lebih baik daripada produk inovator</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <p>(Taufik Riadi, 2014)</p> |

### 2.3 Kerangka Berpikir



### 2.4 Hipotesis

- $H_0$ : Variasi konsentrasi Kalsium Hidroksida pada *Soda lime* tidak berpengaruh signifikan pada peningkatan daya serap karbon dioksida.
- $H_1$ : Variasi konsentrasi Kalsium Hidroksida pada *Soda lime* berpengaruh signifikan pada peningkatan daya serap karbon dioksida.