

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Indonesia merupakan salah satu negara dengan luas wilayah laut terbesar serta garis pantai terpanjang didunia. Dengan luas wilayah perairan berupa laut yang mencapai 5,8 juta km<sup>2</sup>, tentunya Indonesia relatif kaya akan flora dan fauna kelautan, serta hasil perairan laut yang sangat melimpah. Salah satu hasil sumber daya perairan kelautan yang menjadi andalan Indonesia selain ikan dan udang adalah kerang (Laksono *et al.*, 2020). Berdasarkan data Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), kerang hijau (*Perna viridis*) merupakan salah satu jenis kerang dengan produksi terbesar di Indonesia. Menurut data Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), produksi kerang hijau (*Perna viridis*) di Indonesia mencapai 348.880 ton pada tahun 2021. Dari keseluruhan berat kerang, hanya sebagian kecil yang benar-benar dapat diolah dan dikonsumsi sebagai produk daging kerang. Sisa dari berat tersebut merupakan cangkang kerang yang tidak dapat diolah sebagai produk pangan. Selama ini, sebagian kecil cangkang kerang tersebut hanya dimanfaatkan sebagai barang hasil kerajinan dan kebanyakan dibuang atau bahkan sebagai campuran pakan ternak. Namun, belum dimanfaatkan secara maksimal di bidang lain, padahal limbah cangkang kerang berpotensi sebagai sumber kalsium tinggi (Indrawati, Laksono, 2015). Menurut Awang *et al.* (2005), limbah cangkang kerang mengandung kalsium karbonat yang tinggi, yakni sebesar 95%, yang berpotensi untuk dimanfaatkan. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan nilai mutu dari cangkang kerang (Destin Purba, Paul, Amun Amri, 2015).

Selain cangkang kerang, Indonesia juga merupakan salah satu produsen telur terbesar didunia. Berdasarkan data *Food and Agriculture Organization* (FAO) pada tahun 2025, Indonesia berada di posisi ketiga sebagai produsen telur terbesar di dunia setelah Tiongkok dan Jepang, dengan potensi produksi mencapai 6,52 juta ton atau setara 104,17 miliar butir. Hal ini sesuai dengan tingginya populasi penduduk yang ada di Indonesia yang berdampak pada peningkatan konsumsi telur sebagai salah satu sumber protein hewani yang kaya akan nilai gizi dan ekonomis. Tingginya konsumsi ini berdampak pada meningkatnya limbah cangkang telur setiap tahunnya, yang umumnya berakhir sebagai limbah di TPA. Limbah cangkang telur memiliki beberapa dampak negatif bila tidak dimanfaatkan lebih lanjut. Dampak negatif yang ditimbulkan, seperti pencemaran

lingkungan, bau tidak sedap, infestasi lalat, permasalahan dalam penanganan tempat pembuangan, serta potensi adanya interaksi lintas spesies antara manusia dan hewan, membuka celah terjadinya perpindahan agen penyakit (*zoonosis*). Karena dampak negatif yang ditimbulkan ini, cangkang telur harusnya dapat dimanfaatkan sehingga dapat meminimalisir dampak negatifnya. Cangkang telur memiliki potensi besar sebagai sumber nutrisi kalsium karena mengandung sekitar 93% kalsium karbonat, 37,3% kalsium, dan 0,40% magnesium (Sekaringgalih *et al.*, 2025). Kandungan kalsium karbonat yang tinggi tersebut menjadikan limbah cangkang telur sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku alternatif penghasil kalsium pada industri PCC. Selain mampu mengurangi akumulasi limbah padat di lingkungan, pemanfaatan cangkang telur juga dapat meningkatkan nilai tambah limbah menjadi produk yang memiliki nilai ekonomi tinggi.

Pemilihan cangkang kerang hijau dan cangkang telur sebagai bahan baku utama pembuatan *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) didasarkan pada beberapa pertimbangan, yaitu ketersediaannya yang melimpah di Indonesia, tingginya kandungan kalsium karbonat masing-masing sebesar 95% dan 93%, harga bahan baku yang relatif rendah, serta kemampuannya dalam mengurangi permasalahan lingkungan akibat penumpukan limbah. Selain itu, pemanfaatan kedua limbah tersebut juga mendukung konsep ekonomi sirkular (*circular economy*) melalui pengolahan limbah menjadi produk bernilai tambah tinggi. Di sisi lain, peningkatan berbagai sektor industri turut berkontribusi terhadap peningkatan emisi gas CO<sub>2</sub>, salah satu gas rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global. Emisi CO<sub>2</sub> yang sebagian besar berasal dari pembakaran bahan bakar fosil di sektor transportasi dan industri telah mencapai 1.515.949 MT pada tahun 2016 menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2017). Oleh karena itu, industri yang memproduksi *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC), khususnya melalui metode karbonasi, tidak hanya mampu memanfaatkan limbah cangkang sebagai sumber kalsium, tetapi juga berpotensi memanfaatkan gas CO<sub>2</sub> sebagai bahan baku proses sehingga dapat membantu mengurangi dampak negatif emisi karbon dioksida terhadap lingkungan. Dengan demikian, produksi PCC dari limbah cangkang kerang dan cangkang telur memberikan manfaat ganda, yaitu mengurangi akumulasi limbah padat sekaligus mendukung upaya pengurangan emisi karbon melalui pemanfaatan CO<sub>2</sub> dalam proses produksi PCC (Hutagaol, 2021).

*Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) merupakan senyawa kimia dengan rumus CaCO<sub>3</sub> yang digunakan sebagai filler atau bahan pencampur pada berbagai industri. Proses sintesis PCC umumnya dilakukan melalui metode karbonasi, yakni reaksi antara ion

kalsium dan karbonat dengan bantuan gas karbon dioksida. Bentuk kristal PCC yang berbeda dari jenis kalsium karbonat lainnya menjadikan sifat fisik pada PCC juga berbeda, seperti densitas, luas permukaan, dan kemampuan absorpsinya. Berbeda dengan jenis kalsium karbonat lainnya, PCC memiliki harga yang lebih tinggi dikarenakan tingkat kemurnian yang tinggi dan ukuran partikel PCC yang kecil (skala mikro) dan sangat halus. Dengan keistimewaan karakteristik yang dimilikinya, pemakaian PCC dalam industri menjadi semakin luas. Salah satunya, PCC telah digunakan sebagai aditif pada makanan dan obat-obatan seperti suplemen kalsium, pengobatan osteoporosis, dan pengobatan pasien gagal ginjal. Ukuran partikel  $\text{CaCO}_3$  yang kecil akan meningkatkan penyerapan beberapa mineral, meningkatkan retensi kalsium dan kekuatan tulang (Hutagaol, 2021).

Selain industri makanan dan obat-obatan, PCC juga banyak digunakan di berbagai industri seperti industri kertas, cat, polimer, dan minuman. Berdasarkan kajian, sampai tahun 2022, rata-rata pertumbuhan industri-industri yang menggunakan PCC sebagai bahan baku produknya mengalami peningkatan sebesar 3,4% per tahun (Shovitri, Maya, & Muhammad A. P. Utomo, 2014.. Kebutuhan PCC di Indonesia sedikit terpenuhi dengan adanya produksi PCC dalam negeri yang hanya dapat memenuhi kebutuhan di industri kertas, sedangkan sebagian besar industri, seperti industri farmasi dan makanan, masih mengandalkan impor dari luar negeri. Data Badan Pusat Statistik menunjukkan impor *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) sebesar 30.000.000–40.000.000 kg per tahun dan pada tahun 2006 impor PCC di Indonesia mencapai 45.766.370 kg (Shovitri, Maya, & Muhammad A. P. Utomo, 2014).

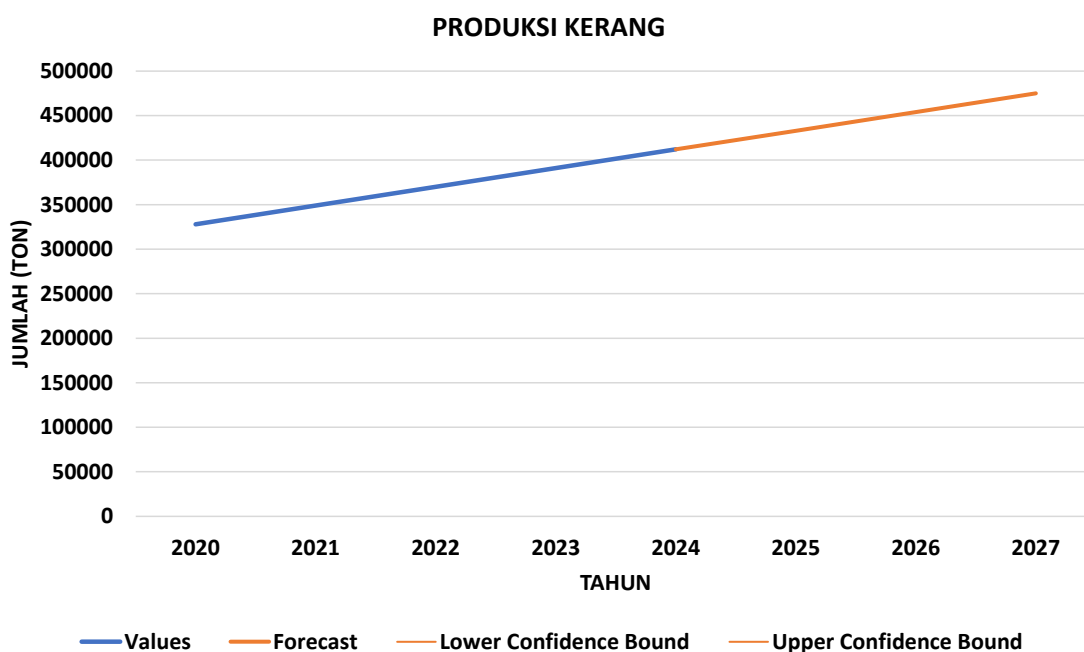
Dengan adanya peluang di sektor industri ini, diharapkan pada masa mendatang dapat berperan dalam peningkatan ekonomi bangsa. Keadaan tersebut didukung oleh kebijakan pemerintah Indonesia dalam bidang industri kimia yang akan mendukung perkembangan industri kimia di Indonesia. Selain itu, menurut Direktorat Statistik Industri, 2020, pendirian pabrik PCC ini diharapkan juga mampu membuka lapangan pekerjaan untuk mengurangi angka pengangguran di Indonesia yang mencapai 6,88 juta jiwa pada bulan Februari tahun 2020.

## **I.2 Analisa Pasar dan Kapasitas Produksi**

### **I.2.1 Ketersediaan Bahan Baku**

Bahan baku utama yang digunakan dalam pembuatan *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) adalah limbah cangkang kerang dan limbah cangkang telur yang tersedia melimpah di Indonesia. Berdasarkan data Kementerian Kelautan dan Perikanan, produksi

kerang hijau (*Perna viridis*) di Indonesia terus mengalami peningkatan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar I.1. Pada tahun 2020, produksi kerang hijau mencapai 327.842 ton dan meningkat menjadi 411.994 ton pada tahun 2024. Dari hasil prediksi menggunakan metode *forecast linear* dengan data historis tahun 2025-2027, diperkirakan produksi kerang hijau akan terus meningkat hingga mencapai 475.108 ton pada tahun 2027.



Gambar I. 1 Produksi Kerang Tahun 2020-2027 di Indonesia

Sumber data: bps.go.id

Dari keseluruhan berat kerang, hanya sebagian kecil yang benar-benar dapat diolah dan dikonsumsi sebagai produk daging kerang, sedangkan sisa berat tersebut merupakan cangkang kerang yang tidak dapat diolah menjadi produk pangan. Berdasarkan jurnal penelitian morfometri kerang di Indonesia, cangkang kerang umumnya menyumbang sekitar 51,19% dari berat total satu butir kerang, sehingga *yield* daging hanya berkisar 48,81% dari berat total (Elfarisna, 2023) . Dengan menggunakan asumsi konservatif bahwa 51,19% dari berat total kerang merupakan cangkang, maka limbah cangkang kerang yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel I. 1 Jumlah Limbah Cangkang Kerang Tahun 2020-2027

| Tahun | Jumlah (ton) |
|-------|--------------|
| 2020  | 167822,32    |
| 2021  | 178591,67    |
| 2022  | 189361,02    |

| <b>Tahun</b> | <b>Jumlah (ton)</b> |
|--------------|---------------------|
| 2023         | 200130,38           |
| 2024         | 210899,73           |
| 2025         | 221669,08           |
| 2026         | 232438,43           |
| 2027         | 243207,79           |

Sumber data: bps.go.id

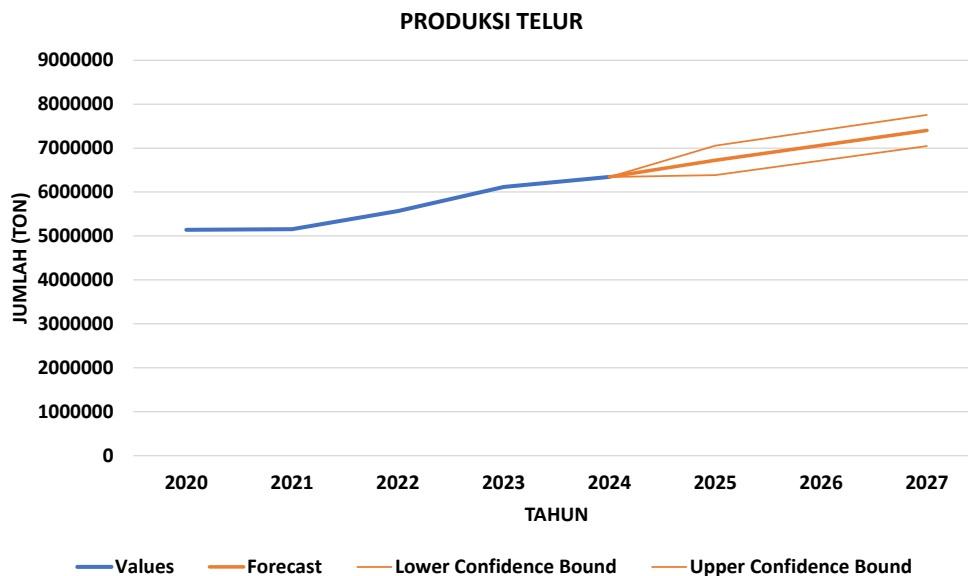
Ketersediaan bahan baku sangat penting untuk menjamin kesinambungan produksi pabrik PCC. Salah satu sumber utama bahan baku adalah limbah cangkang kerang, khususnya cangkang kerang hijau, yang tersebar di berbagai wilayah sentra pengolahan di Indonesia. Berdasarkan survei dan referensi terkini dari hasil penelitian dan laporan instansi terkait, Tabel 1.2 adalah rekap kapasitas limbah cangkang kerang di beberapa lokasi sentra utama, baik dari kelompok nelayan maupun perusahaan pengepul.

Selain potensi limbah cangkang kerang dari berbagai desa/kampung di wilayah pesisir Jawa Timur dan sekitarnya yang tercantum pada Tabel 1.2, perusahaan juga merencanakan pengadaan bahan baku utama dari CV Galang Samudra Jaya, Banyuwangi. CV Galang Samudra Jaya merupakan badan usaha yang memanfaatkan limbah cangkang kerang sebagai bahan utama dalam produksi paving block inovatif dan telah berdiri secara resmi sejak tahun 2019. Berdasarkan hasil survei dan publikasi, wilayah Pantai Kenjeran, Surabaya yang menjadi wilayah pengumpulan dan pengolahan oleh CV Galang Samudra Jaya memiliki potensi pengumpulan cangkang kerang hingga mencapai 229.000 ton per tahun (data tahun 2019). Jumlah ini diperoleh dari akumulasi hasil tangkapan kerang oleh sekitar 2.100 nelayan wilayah Kenjeran, dengan rata-rata sisa limbah cangkang sekitar 1.470 kuintal per hari. Dengan demikian, pasokan bahan baku untuk pabrik dapat dipastikan terjamin baik dari sisi kuantitas maupun kesinambungan distribusi. Berdasarkan Allif et.al., diperoleh jumlah cangkang kerang yang ada di Indonesia sebanyak 244.216,00 ton/tahun

Tabel I. 2 Kapasitas Produksi Limbah Cangkang Kerang Hijau per Provinsi

| No | Provinsi    | Kapasitas Limbah (ton/tahun) | Sumber                                                                                                                                                             |
|----|-------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Banten      | 2.226                        | (Istikharoh dan Bahtiar, 2022);<br>( <a href="http://www.wwf.id/en/blog/green-mussels-spawned-nature">http://www.wwf.id/en/blog/green-mussels-spawned-nature</a> ) |
| 2  | DKI Jakarta | 20.540                       | (Allif et.al., 2025)                                                                                                                                               |
| 3  | Jawa Timur  | 23.369,9                     | (Allif et.al., 2025); (Sawiji dan Perdanawati, 2017)                                                                                                               |
| 4  | Jawa Barat  | 11.859                       | (Allif et.al., 2025)                                                                                                                                               |
| 5  | Lampung     | 73,62                        | (Bama et.al., 2025)                                                                                                                                                |
| 6  | Raja Ampat  | 4.900                        | (Allif et.al., 2025)                                                                                                                                               |
| 7  | Maluku      | 3.335,69                     | (Allif et.al., 2025)                                                                                                                                               |

Selain cangkang kerang, Indonesia juga merupakan salah satu produsen telur terbesar di dunia. Berdasarkan data *Food and Agriculture Organization* (FAO) pada tahun 2020, Indonesia berada di posisi ketiga sebagai produsen telur terbesar di dunia setelah Tiongkok dan Amerika Serikat, dengan potensi produksi mencapai 5.141.570 ton pada tahun 2020. Tingginya produksi telur ini berdampak pada peningkatan konsumsi telur sebagai salah satu sumber protein hewani yang kaya akan nilai gizi dan ekonomis bagi masyarakat Indonesia. Tingginya konsumsi telur ini berdampak pada meningkatnya limbah cangkang telur setiap tahunnya, yang umumnya berakhir sebagai limbah di tempat pembuangan akhir (TPA).



Gambar I. 2 Produksi Telur Tahun 2020-2027 di Indonesia

Sumber data: bps.go.id

Berdasarkan data produksi telur Indonesia tahun 2020–2027 pada Gambar 1.2, produksi telur mencapai 7.401.873,6 ton pada tahun 2027. Cangkang telur memiliki potensi besar sebagai sumber kalsium karena mengandung sekitar 93% kalsium karbonat, 37,3% kalsium, dan 0,40% magnesium (Sekaringgalih *et al.*, 2025). Berdasarkan literatur ilmiah, berat cangkang telur biasanya sekitar 9–12% dari berat total telur, dengan nilai rata-rata 10% yang digunakan sebagai estimasi akurat untuk analisis kimia dan penelitian daur ulang limbah cangkang telur (Z. Wulandari & I. I. Arief, 2022). Dengan menggunakan asumsi konservatif bahwa 10% dari berat total produksi telur merupakan cangkang, limbah cangkang telur yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 1.3.

Tabel I. 3 Jumlah Limbah Cangkang Telur Tahun 2020-2027

| Tahun | Jumlah (ton) |
|-------|--------------|
| 2020  | 514157       |
| 2021  | 515599,77    |
| 2022  | 556633,94    |
| 2023  | 611790,54    |
| 2024  | 634270,5     |
| 2025  | 672258,58    |
| 2026  | 706222,97    |
| 2027  | 740187,36    |

Sumber data: bps.go.id

Selain limbah cangkang kerang, kebutuhan bahan baku pabrik juga akan dipenuhi dari limbah cangkang telur ayam boiler yang memiliki potensi dan ketersediaan besar di Indonesia. Salah satu strategi utama pengadaan bahan baku adalah bekerja sama dengan unit usaha dan pengepul utama cangkang telur di wilayah-wilayah sentra peternakan ayam petelur (Tabel 1.4). Untuk tahap awal, pengadaan limbah cangkang telur akan diprioritaskan dari dua mitra utama, yakni PT Sinergi Pangan Mandiri (Blitar) dengan kapasitas limbah cangkang telur sekitar 252 ton per tahun, serta PT Super Unggas Jaya Farm Sapon B (Jombang) dengan kapasitas 241 ton per tahun. Selain itu, sumber alternatif juga dapat berasal dari jaringan peternak dan pengepul di wilayah sekitar dan limbah Satuan Pelayanan Pemenuhan Gizi (SPPG) Surabaya dengan kapasitas limbah 101,2608 ton/tahun. Sehingga kontinuitas suplai tetap terjamin dan risiko kekurangan bahan baku dapat diminimalkan.

Tabel I. 4 Kapasitas Produksi Limbah Cangkang Telur di Beberapa Industri

| No | Nama/Unit Usaha                                 | Lokasi       | Kapasitas Limbah (ton/tahun) | Sumber                                                                                                                                                                  |
|----|-------------------------------------------------|--------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | PT Charoen Pokphand - Hatchery Lombok Timur     | Lombok Timur | 270                          | (Yasin, n.d.)                                                                                                                                                           |
| 2  | PT Sinergi Pangan Mandiri (SIPAMAN)             | Blitar       | 252                          | ( <a href="https://trubus.id/sipaman-blitar-wujud-nyata-hilirisasi-peternakan-rakyat/">https://trubus.id/sipaman-blitar-wujud-nyata-hilirisasi-peternakan-rakyat/</a> ) |
| 3  | UMKM Bengkulu (Total)                           | Bengkulu     | 48,6                         | (Wulandari, 2020)                                                                                                                                                       |
| 4  | Peternak Darsono                                | Jember       | 5                            | (Pater <i>et al.</i> , 2024)                                                                                                                                            |
| 5  | PT Super Unggas Jaya Farm Sapon B               | Jombang      | 241                          | (Ali, 2023)                                                                                                                                                             |
| 6  | Satuan Pelayanan Pemenuhan Gizi (SPPG) Surabaya | Surabaya     | 101,2608                     | ( <a href="https://www.bgn.go.id/operasional-sppg/">https://www.bgn.go.id/operasional-sppg/</a> )                                                                       |



Tabel I. 5 Kapasitas Produksi Limbah Cangkang Telur Secara Global

|            |             |
|------------|-------------|
| Jawa Timur | 201.632,435 |
| Indonesia  | 634.270,5   |

Sumber: BPS, 2024

Menurut penelitian Awang et al. (2005), limbah cangkang kerang mengandung kalsium karbonat yang tinggi, yakni sebesar 95%, yang berpotensi untuk dimanfaatkan. Demikian pula dengan limbah cangkang telur yang mengandung sekitar 93% kalsium karbonat, 37,3% kalsium, dan 0,40% magnesium (Sekaringgalih *et al.*, 2025). Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya peningkatan nilai mutu dari limbah cangkang kerang dan cangkang telur melalui proses konversi menjadi produk bernilai ekonomi tinggi seperti *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC). Dengan keberadaan limbah cangkang kerang dan telur yang sangat melimpah di Indonesia, ketersediaan bahan baku untuk produksi PCC dapat dipastikan mencukupi untuk jangka panjang, bahkan hingga puluhan tahun ke depan. Hal ini memberikan keunggulan kompetitif bagi pabrik PCC yang akan didirikan karena tidak bergantung pada impor bahan baku dan dapat mengurangi biaya pengadaan bahan baku secara signifikan.

### I.2.2 Analisis Pasar *Calcium Carbonate* di Indonesia

Sebagian besar kebutuhan *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) di Indonesia masih dipenuhi melalui impor dari luar negeri, terutama dari negara-negara seperti Tiongkok, India, dan Vietnam. Berdasarkan Tabel 1.6 mengenai jumlah impor *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) (kode HS 283650) dari Trademap tahun 2017–2024 menunjukkan fluktuasi dengan tren peningkatan jangka panjang. Tingginya ketergantungan terhadap impor ini menunjukkan adanya peluang besar bagi produsen lokal untuk memenuhi kebutuhan domestik dan mengurangi pengeluaran devisa negara.

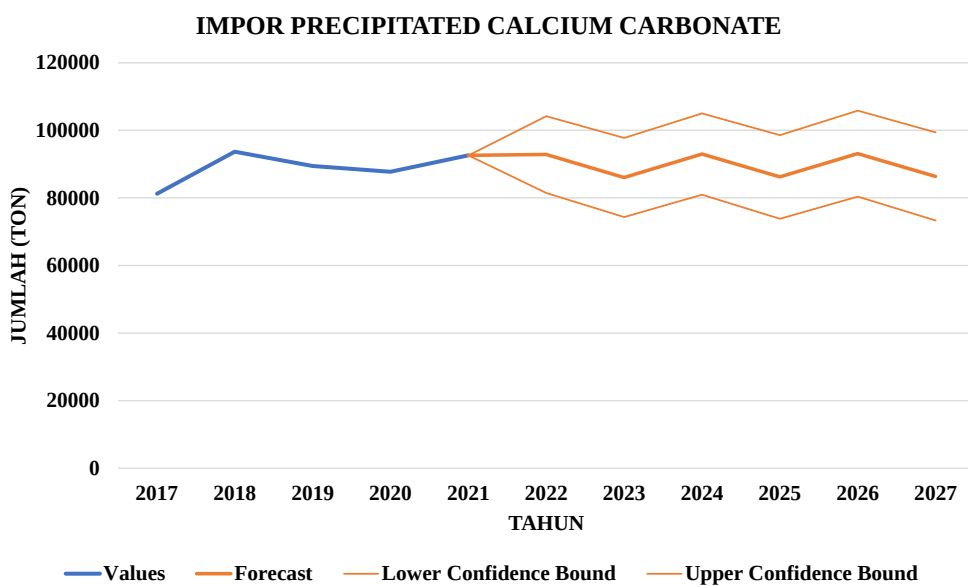
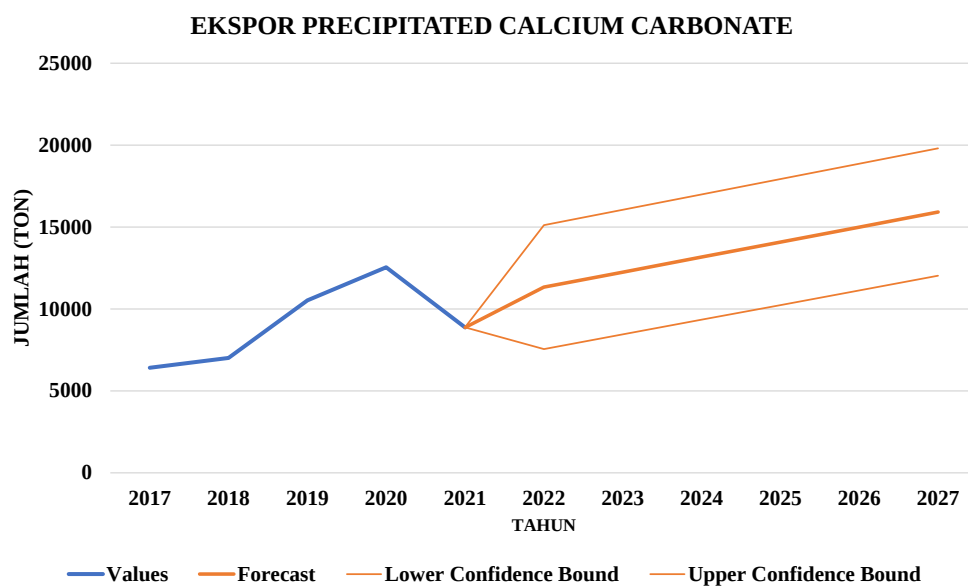
Tabel I. 6 Jumlah Ekspor - Impor *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC)

Tahun 2017-2027

| Tahun | Ekspor (Ton) | Impor (Ton) |
|-------|--------------|-------------|
| 2017  | 6408,51      | 81255,23    |
| 2018  | 7011,83      | 93654,88    |
| 2019  | 10525,36     | 89438,05    |
| 2020  | 12546,57     | 87751,19    |

| Tahun | Ekspor (Ton) | Impor (Ton) |
|-------|--------------|-------------|
| 2021  | 8872,04      | 92584,30    |
| 2022  | 11330,72     | 92833,71    |
| 2023  | 12246,62     | 86059,56    |
| 2024  | 13162,52     | 92982,36    |
| 2025  | 14078,43     | 86208,22    |
| 2026  | 14994,33     | 93131,01    |
| 2027  | 15910,23     | 86356,87    |

Sumber data: trademap.org



Gambar I. 3 Jumlah Ekspor - Impor *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) Tahun 2017-2027. Sumber data: trademap.org

Di sisi lain, ekspor PCC Indonesia relatif sangat rendah dibandingkan dengan impor. Berdasarkan data *trademap* tahun 2017–2024, ekspor PCC pada tahun 2017 hanya sebesar 6.408,51 ton dan pada tahun 2024 mencapai 13.162,52 ton. Kebutuhan PCC di Indonesia terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan sektor-sektor industri yang memanfaatkan PCC sebagai bahan baku atau bahan tambahan, seperti industri kertas, plastik, cat dan pelapis, farmasi, serta makanan. Berdasarkan kajian industri, rata-rata pertumbuhan industri-industri yang menggunakan PCC sebagai bahan baku produknya mengalami peningkatan sebesar 3,4% per tahun (Badan Pusat Statistik, 2019). Konsumsi PCC di Indonesia pada tahun 2017 mencapai 81.255,23 ton, dan terus meningkat hingga 169.897,62 ton pada tahun 2024. Kebutuhan PCC di Indonesia sedikit terpenuhi dengan adanya produksi dalam negeri yang tertera pada Tabel 1.6.

Tabel I. 7 Produksi *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) dalam Negeri

| No. | Nama Pabrik                | Kapasitas (Ton/Tahun ) |
|-----|----------------------------|------------------------|
| 1   | PT. Omya Indonesia         | 36.000                 |
| 2   | PT. Bumi Kencana Indonesia | 24.000                 |

Dengan adanya peluang di sektor industri ini, diharapkan pada masa mendatang pabrik PCC lokal akan dapat berperan dalam peningkatan ekonomi bangsa dan pengurangan ketergantungan impor. Sebagai penguatan analisis permintaan regional dan potensi ekspansi pasar, berikut data kebutuhan PCC di negara-negara utama ASEAN untuk tahun 2018–2022 (Tabel 1.8). Data ini menunjukkan bahwa Indonesia memiliki kebutuhan terbesar di kawasan, diikuti oleh Myanmar dan Filipina, serta tren pertumbuhan yang terus meningkat setiap tahunnya.

Tabel I. 8 Kebutuhan *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) di ASEAN

| No        | Negara    | Kebutuhan di ASEAN (Ton / Tahun) |          |           |           |           |
|-----------|-----------|----------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|
|           |           | 2018                             | 2019     | 2020      | 2021      | 2022      |
| 1         | Indonesia | 93655                            | 105294   | 113027    | 121151    | 129275    |
| 2         | Myanmar   | 58079,14                         | 65599,23 | 66399,23  | 69399,23  | 71920     |
| 3         | Filipina  | 48503,65                         | 49323,17 | 50323,17  | 51323,17  | 53489     |
| 4         | Singapura | 30653                            | 32648    | 33509     | 35910     | 36819     |
| 5         | Malaysia  | 27940,12                         | 37078,95 | 38901,21  | 42109     | 44920     |
| Total     |           | 258830,79                        | 289943   | 302159,25 | 319892,46 | 336423,49 |
| Rata-rata |           | 51766                            | 57989    | 60432     | 63978     | 67285     |

### I.2.3 Segmentasi Pelanggan Potensial

Industri kalsium karbonat di Indonesia terdiri atas dua jenis utama, yaitu *Ground Calcium Carbonate* (GCC) dan *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC). PCC dihasilkan melalui proses kimia dengan cara mereaksikan kalsium oksida atau kalsium hidroksida dengan karbon dioksida, sehingga menghasilkan kalsium karbonat dengan ukuran partikel yang jauh lebih kecil (mikro hingga nano), tingkat kemurnian tinggi, dan bentuk morfologi kristal yang lebih seragam. Sedangkan GCC merupakan kalsium karbonat yang diperoleh melalui proses penggilingan batu kapur hingga menjadi bubuk halus tanpa perubahan kimiawi struktur mineralnya. Ketelitian dalam pemilihan ukuran partikel, kemurnian, dan sifat-sifat permukaan membuat PCC lebih unggul untuk aplikasi spesifik, seperti pada industri kertas premium, farmasi, makanan, dan plastik (Margarita *et al.*, 2016).

Produksi dan penggunaan GCC masih mendominasi industri di Indonesia, dengan perusahaan-perusahaan besar seperti PT Omya Indonesia, PT Surya Alam Tunggal, dan PT Polindo Utama yang berfokus pada GCC sebagai bahan tambahan industri konvensional. Sementara itu, segmen PCC, terutama yang diproduksi dari limbah biomineral seperti cangkang telur dan kerang, masih sangat terbatas, baik dari sisi jumlah pelaku maupun kapasitas produksinya. Hal ini menimbulkan peluang besar bagi pendirian pabrik PCC baru yang memanfaatkan potensi biomineral lokal, mengingat kebutuhan domestik yang sebagian besar masih bergantung pada impor dari negara produsen besar seperti Tiongkok, India, dan Vietnam. Pabrik PCC yang mampu menghasilkan produk berkualitas tinggi sangat diperlukan untuk memenuhi standar industri farmasi, makanan, kertas premium, dan plastik dengan karakteristik khusus.

Pelanggan potensial PCC sangat luas dan meliputi beberapa sektor utama industri di Indonesia. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik 2022, segmentasi pelanggan potensial terdiri atas industri kertas dan pulp dengan estimasi 50-100 pabrik kertas sebagai pelanggan utama, industri cat dan pelapis dengan estimasi 30-60 perusahaan skala menengah-besar, industri plastik dan karet dengan estimasi 100-200 perusahaan pengguna *filler*, serta sektor farmasi dan makanan dengan estimasi 20-40 perusahaan produsen obat dan suplemen. Total pelanggan potensial mencapai sekitar 200-400 perusahaan di seluruh sektor tersebut. Secara geografis, konsentrasi tertinggi industri manufaktur berada di Pulau Jawa, khususnya Jawa Barat, Jawa Timur, dan Banten yang juga menjadi pusat industri kertas dan plastik nasional. Sementara itu, Sumatera memiliki industri *pulp* dan kertas besar di Riau dan Sumatera Selatan, dan kawasan industri berkembang juga terdapat di Sulawesi serta Kalimantan. Dengan beragamnya cakupan pasar, strategi logistik dan

distribusi harus dirancang secara efisien guna memastikan suplai PCC berkualitas dapat menjangkau seluruh industri pengguna di wilayah Indonesia.

#### I.2.4 Perhitungan Kapasitas Produksi

Penentuan kapasitas produksi pabrik PCC dalam studi prarancangan ini didasarkan pada analisis kesenjangan antara total permintaan nasional dan total suplai PCC di Indonesia pada tahun terakhir yang relevan. Berdasarkan data tahun 2027, total konsumsi domestik PCC mencapai 169.898 ton, sementara jumlah impor pada tahun tersebut adalah 86.357 ton dan produksi domestik tercatat sebesar 60.000 ton, sehingga total suplai PCC di Indonesia pada tahun yang sama adalah 146.357 ton. Dengan mempertimbangkan aktivitas ekspor sebesar 15.910 ton, total permintaan PCC nasional pada tahun 2027 tercatat sebesar 185.808 ton. Perhitungan kebutuhan kapasitas produksi pabrik baru dilakukan dengan menghitung selisih antara total permintaan dan total suplai yang tersedia pada tahun tersebut. Berdasarkan Tabel 1.9, dapat diketahui kekosongan pasar untuk memenuhi kebutuhan yang ada dengan menggunakan perhitungan dari persamaan dan hasil data forecast di bawah ini.

Tabel I. 9 Tabel Suplai dan Kebutuhan Domestik

| Tahun | Suplai Domestik |          |              | Kebutuhan Domestik |          |                  |
|-------|-----------------|----------|--------------|--------------------|----------|------------------|
|       | Impor           | Produksi | Total Suplai | Ekspor             | Konsumsi | Total Permintaan |
| 2017  | 81.255          | 60.000   | 141.255      | 6.409              | 81.255   | 87.664           |
| 2018  | 93.655          | 60.000   | 153.655      | 7.012              | 93.655   | 100.667          |
| 2019  | 89.438          | 60.000   | 149.438      | 10.525             | 105.294  | 115.819          |
| 2020  | 87.751          | 60.000   | 147.751      | 12.547             | 113.027  | 125.573          |
| 2021  | 92.584          | 60.000   | 152.584      | 8.872              | 121.151  | 130.023          |
| 2022  | 92.834          | 60.000   | 152.834      | 11.331             | 129.275  | 140.606          |
| 2023  | 86.060          | 60.000   | 146.060      | 12.247             | 137.400  | 149.647          |
| 2024  | 92.982          | 60.000   | 152.982      | 13.163             | 145.524  | 158.687          |
| 2025  | 86.208          | 60.000   | 146.208      | 14.078             | 153.649  | 167.727          |
| 2026  | 93.131          | 60.000   | 153.131      | 14.994             | 161.773  | 176.768          |
| 2027  | 86.357          | 60.000   | 146.357      | 15.910             | 169.898  | 185.808          |

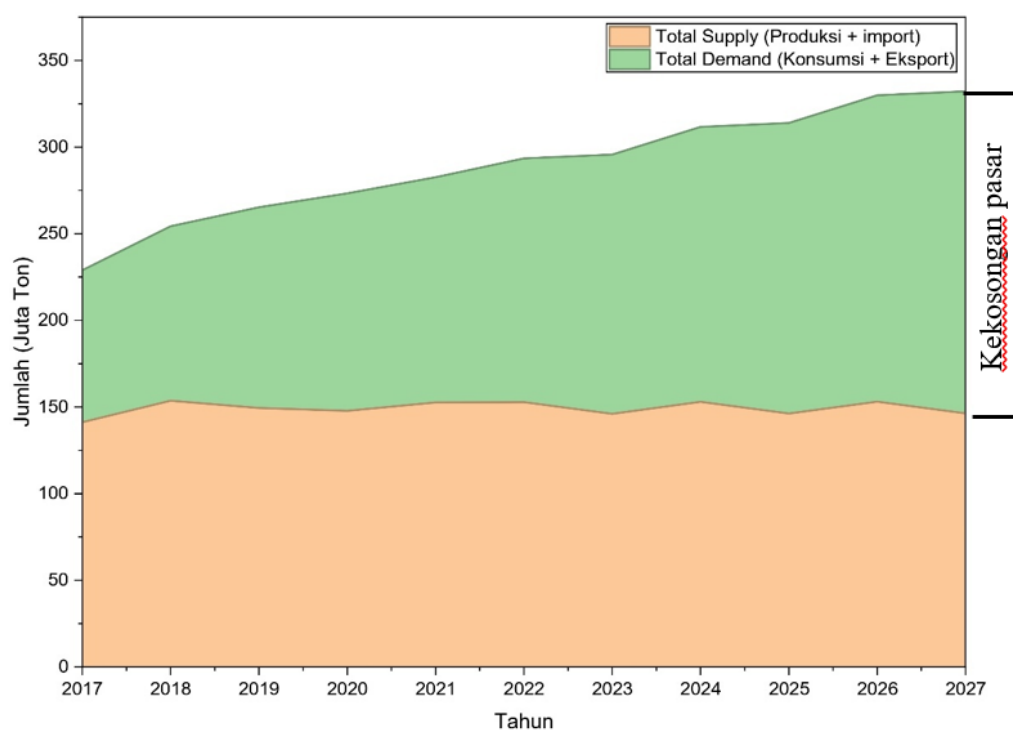
\*Satuan dalam Ton/Tahun

Kapasitas Produksi yang Dibutuhkan = Total Permintaan - Total Suplai

$$= 185.808 - 146.357$$

$$= 39.451 \text{ Ton/Tahun} \approx 40.000 \text{ Ton/Tahun}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, kapasitas produksi pabrik yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan PCC di pasar domestik adalah sebesar 40.000 Ton/Tahun. Kapasitas ini diharapkan dapat mengisi kekosongan pasar dan mendukung kebutuhan industri hilir di Indonesia, serta menjadi acuan untuk skalabilitas produksi pabrik pada tahun-tahun berikutnya sesuai tren pertumbuhan konsumsi nasional. Perhitungan ini mengikuti prinsip-prinsip penetapan kapasitas produksi dalam studi kelayakan industri kimia, serta mempertimbangkan data statistik dan realisasi konsumsi bahan baku nasional secara sistematis.



Gambar I. 4 Prediksi kekosongan pasar dari peninjauan suplai dan demand produk

#### *Precipitated Calcium Carbonate (PCC)*

Pabrik PCC yang dirancang ini direncanakan untuk beroperasi hingga 10 tahun ke depan, dimulai pada tahun 2027. Dari hasil prediksi yang dilakukan, produk PCC tetap mengalami kekosongan pasar hingga tahun 2037 apabila tidak ada pabrik baru yang didirikan. Dengan kapasitas produksi pabrik yang direncanakan, yaitu 39.451 Ton/Tahun, diperkirakan pabrik ini dapat menyuplai  $\pm 25\%$  kebutuhan PCC di Indonesia mulai tahun 2027 hingga 2037.

### I.2.7 Penentuan Harga Jual

Tabel I. 10 Harga Pasar PCC di Indonesia

| Tahun            | Price (USD)     |
|------------------|-----------------|
| 2017             | 499             |
| 2018             | 507             |
| 2019             | 500             |
| 2020             | 482             |
| 2021             | 537             |
| 2022             | 532             |
| 2023             | 500             |
| 2024             | 479             |
| 2025             | 497             |
| 2026             | 497             |
| 2027             | 497             |
| <b>Rata-rata</b> | <b>502,4546</b> |

Sumber: BPS, 2024

Berdasarkan data harga PCC (*Precipitated Calcium Carbonate*) rata-rata yang didapatkan dari tren harga beberapa tahun terakhir, yaitu sebesar USD 502,4546 per ton, penetapan harga jual produk PCC pabrik ini didasarkan pada analisis harga pasar aktual agar lebih kompetitif dan realistis. Nilai rata-rata ini dihitung dari harga PCC periode tujuh tahun terakhir (2017–2027) yang mengalami fluktuasi antara USD 479–537 per ton, sehingga dapat merefleksikan dinamika permintaan dan penawaran global maupun domestik. Untuk menjaga daya saing sekaligus mendapatkan margin keuntungan yang layak, harga jual produk PCC yang digunakan untuk perhitungan analisa ekonomi sebesar USD 502,4546/ton atau setara dengan IDR 8.951.227,8083/ton (kurs konversi USD ke IDR sebesar 17.815). Penetapan harga ini memperhitungkan faktor biaya produksi, target profit, serta memastikan produk masih dapat terserap secara optimal oleh pasar sasaran. Selain itu, dengan mengambil referensi harga rata-rata pasar, strategi ini dapat meminimalisir risiko *overpricing* yang dapat menurunkan daya serap pasar, maupun *underpricing* yang bisa menurunkan keuntungan usaha. Seluruh pertimbangan harga jual ini akan ditinjau ulang pada saat evaluasi kelayakan ekonomi akhir, setelah seluruh komponen biaya dan potensi permintaan riil dianalisis lebih lanjut serta mempertimbangkan perkembangan pasar di masa mendatang.

### **I.3 Kebaruan Produk/Proses**

Kebaruan pada desain pabrik *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) ini dapat dibedakan dari sisi produk, proses, maupun strategi integrasi keduanya untuk mencapai solusi industri yang lebih ramah lingkungan dan bernilai tambah tinggi. Dari sisi produk, inovasi utama terletak pada karakter PCC yang dihasilkan, yaitu memiliki kemurnian tinggi, ukuran partikel mikro hingga nano yang seragam, serta fleksibilitas aplikasi pada berbagai industri, mulai dari makanan, farmasi, hingga kertas, plastik, dan cat premium. Produk PCC yang dihasilkan tidak hanya memenuhi standar industri nasional serta internasional (SNI, ISO, dan FDA), tetapi juga menawarkan keunggulan seperti kemampuan dispersi yang sangat baik di berbagai medium cair sehingga memudahkan pencampuran pada formulasi industri (Ono, Hiroshi, & Yulin Deng, 1997), serta tingkat adsorpsi yang tinggi yang memungkinkan PCC berperan efektif sebagai penyerap zat pengotor atau bahan tambahan pada proses manufaktur (Vidyaning *et al.*, 2022). Karakteristik ini umumnya belum dapat dicapai oleh PCC berbahan baku batu kapur konvensional, karena perbedaan ukuran partikel dan morfologi hasil proses yang kurang seragam (Marchini *et al.*, 2022), sehingga produk hasil pabrik ini mampu memberikan performa dan nilai tambah yang lebih tinggi di aplikasi industri kertas, plastik, cat, maupun farmasi. Desain ini juga memanfaatkan limbah cangkang kerang dan telur yang selama ini hanya menjadi limbah tidak bernilai pada lingkungan dan tempat pembuangan akhir. Dengan mengubah limbah biomineral menjadi PCC berkualitas tinggi, pabrik mampu memberikan solusi sirkular ekonomi serta mendukung program pemerintah untuk pengurangan limbah dan emisi karbon secara langsung karena produksi PCC juga menggunakan CO<sub>2</sub> hasil samping dari proses industri lain.

Kebaruan utama dari sisi proses pada rancangan pabrik PCC ini adalah penerapan teknologi produksi hijau berbasis biomineral, yakni limbah cangkang kerang dan cangkang telur. Pemanfaatan limbah biomineral sebagai bahan baku memiliki keunggulan valid secara ilmiah dibandingkan dengan batu kapur konvensional, antara lain kandungan kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) yang lebih tinggi serta struktur kristal kalsit yang seragam, sehingga mengoptimalkan hasil dan kualitas PCC yang diproduksi (Marchini *et al.*, 2022). Penerapan teknologi tersebut memberikan kontribusi dalam menekan konsumsi bahan baku primer yang umumnya berasal dari sumber daya alam tak terbarukan, sekaligus mengurangi beban pencemaran lingkungan akibat limbah padat yang sebelumnya kurang dimanfaatkan secara optimal oleh industri.



Dalam proses yang dirancang, seluruh rantai produksi mengutamakan pengelolaan limbah proses secara terintegrasi, khususnya dengan memanfaatkan limbah CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari proses industri lain maupun pembakaran biomassa sebagai bahan pada tahap karbonasi PCC. Upaya ini tidak hanya mengurangi emisi gas rumah kaca, tetapi juga memungkinkan penggunaan CO<sub>2</sub> secara sirkular sehingga efisiensi proses dan keberlanjutan lingkungan dapat tercapai. Kombinasi pemanfaatan biomineral dan optimalisasi siklus CO<sub>2</sub> menjadikan yield produksi PCC meningkat secara signifikan, didukung oleh reaktivitas dan konsentrasi CaCO<sub>3</sub> dari bahan baku yang lebih tinggi dibandingkan dengan batu kapur, sehingga proses sintesis lebih optimal dan produk yang dihasilkan memiliki kemurnian serta performa adsorpsi lebih unggul pada aplikasi industri (Yun *et al.*, 2022).

Desain proses turut didukung oleh penerapan otomasi dan digitalisasi sensor untuk sistem kontrol kualitas. Dengan demikian, inovasi yang diusung tidak hanya menghasilkan produk PCC dengan spesifikasi teknis yang lebih baik, tetapi juga menawarkan keunggulan komparatif dalam ketahanan pasokan bahan baku, mitigasi limbah, efisiensi energi, dan kontribusi konkret terhadap pencapaian target pembangunan industri yang berkelanjutan. Seluruh aspek kebaruan ini diharapkan menjadi daya tarik bagi pelaku usaha, investor, maupun konsumen, dan mampu memberikan dampak positif terhadap perekonomian serta lingkungan secara nasional dan global.

## **I.4 Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku dan Produk**

### **I.4.1 Cangkang kerang hijau**

Kerang hijau (*Perna viridis*) atau dikenal sebagai “*green mussels*” merupakan jenis kerang yang memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Nutrisi cangkang kerang mempunyai kandungan mineral terutama kalsium yang relatif tinggi, sehingga diversifikasi sebagai sumber kalsium alami. Cangkang kerang mengandung mineral kalsium karbonat yang berpotensi dimanfaatkan untuk beberapa aplikasi. Selain hal tersebut, limbah cangkang kerang hijau di Indonesia terbilang sangat berlimpah. Menurut data Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), produksi kerang hijau (*Perna viridis*) di Indonesia mencapai 348.880 ton pada tahun 2021. Hal ini dikarenakan nilai ekonomis kerang hijau tersebut sehingga sangat digemari oleh masyarakat. Menurut Cappenberg (2008), klasifikasi Kerang Hijau (*Perna viridis*) adalah sebagai berikut:

Kerajaan (*kingdom*) : Animalia

|                                  |                     |
|----------------------------------|---------------------|
| Filum ( <i>Phylum</i> )          | : Moluska           |
| Kelas ( <i>Class</i> )           | : Bivalvia          |
| Sub klas ( <i>Sub Class</i> )    | : Lamellibranchiata |
| Bangsa ( <i>Ordo</i> )           | : Anisomyria        |
| Induk suku( <i>Superfamily</i> ) | : Mytilacea         |
| Suku ( <i>Family</i> )           | : Mytilidae         |
| Anak suku ( <i>Sub family</i> )  | : Mytilinae         |
| Marga ( <i>Genus</i> )           | : Perna             |
| Jenis ( <i>species</i> )         | : Perna viridis     |

Kerang hijau memiliki bentuk agak pipih, cangkangnya padat, memanjang, dan mempunyai umbo (puncak cangkang) yang mengarah ke tepi sentral. Tipe garis pertumbuhannya *adalah concentric (sepusat)*. Pada fase juvenil, cangkang berwarna hijau cerah, dan pada fase dewasa, warna mulai memudar dan menjadi coklat dengan tepi cangkang berwarna hijau. Sedangkan pada bagian dalam cangkang berwarna hijau kebiruan (Cappenberg, H. A.W., 2008). Kedua cangkang berukuran sama, tapi salah satu cangkang lebih kembang daripada yang lainnya. Kerang hijau memiliki diameter 80–100 mm dan panjang cangkang berkisar antara 4,0–6,5 cm. Panjang cangkang umumnya dua kali lebarnya. Pada cangkang bagian luar terdapat garis-garis lengkung. Ini disebut garis pertumbuhan atau garis umur. Cangkang bagian dalamnya halus dan berwarna putih mengilap. Kerang hijau biasanya terdapat pada kedalaman kurang dari 10 m dan hidup selama kurang lebih tiga tahun (Soon et al., 2014). Bentuk cangkang kerang hijau agak meruncing pada bagian belakang, berbentuk pipih pada bagian tepi serta dilapisi periostrakum pada bagian tengah cangkang.

Tabel I. 11, Kandungan Kimia Cangkang Kerang Hijau (liemawan, 2015)

| Kandungan Kimia                | Persentase (%) |
|--------------------------------|----------------|
| CaCO <sub>3</sub>              | 95,00%         |
| SiO <sub>2</sub>               | 0,22%          |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,00%          |
| MgO                            | 2,37%          |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,01%          |
| H <sub>2</sub> O               | 1,00%          |
| SrO                            | 0,40%          |

Dengan adanya pemanfaatan kandungan mineral dari limbah cangkang kerang hijau dapat menjadi sebuah solusi penanggulangan pencemaran limbah cangkang kerang hijau terhadap lingkungan sekitar sekaligus dapat memanfaatkannya menjadi produk dengan nilai jual tinggi.

#### **I.4.2 Cangkang Telur ayam**

Cangkang telur merupakan lapisan bagian luar dari telur yang berfungsi untuk melindungi semua bagian isi telur dari kerusakan atau gangguan dari luar. Cangkang telur ayam umumnya memiliki berat sekitar 9-12% dari berat telur total. Cangkang telur ayam memiliki warna yang bervariasi, mulai dari warna putih kekuningan sampai cokelat. Cangkang telur pada ayam ras (ayam broiler) memiliki warna putih dan ada yang cokelat. Perbedaan warna tersebut ada pada ketebalan cangkang. Cangkang yang berwarna cokelat lebih tebal daripada yang berwarna putih (Wirakusumah, 2011). Cangkang telur merupakan limbah dari rumah tangga dan limbah industri yang belum dimanfaatkan secara maksimal dan sampai saat ini hanya dimanfaatkan sebagai bahan baku industri kerajinan tangan, aksesoris, dan juga sebagian kecil digunakan sebagai campuran pakan ternak. Produksi telur ayam ras (ayam boiler) di Indonesia pada tahun 2009 sebesar 1.071.389 ton. Jika berat rata-rata telur 60 gram, maka kulit telur yang dihasilkan dalam setahun sebesar 107.139 ton, sehingga beratnya setara dengan 100.710,66 ton kalsium karbonat, 4.285,86 ton magnesium karbonat dan 1.339,25 ton kalsium fosfat (S. Mahreni., & Endang, 2011).

Cangkang telur jika dilihat menggunakan mikroskop terdiri atas 4 lapisan, yaitu lapisan kutikula, lapisan busa, lapisan *mammillary* dan lapisan membran. Lapisan kutikula merupakan protein transparan yang melapisi bagian permukaan kulit telur, terutama pada pori-pori kulit telur. Namun, sifatnya dapat memungkinkan gas untuk lewat sehingga masih terjadi keluarnya uap dan gas CO<sub>2</sub>. Lapisan busa merupakan bagian yang paling banyak melapisi kulit telur. Lapisan tersebut terbentuk dari protein dan lapisan kapur yang terdiri atas kalsium karbonat, kalsium fosfat, magnesium karbonat dan magnesium fosfat. Lapisan *mammillary* merupakan lapisan kulit telur yang terdiri dari lapisan berbentuk kerucut dengan penampang bulat atau lonjong. Lapisan *mammillary* ini sangat tipis dan terdiri atas protein dan mineral. Terakhir, yaitu lapisan membran. Lapisan membran merupakan lapisan kulit telur yang paling dalam dan terdiri dari dua lapisan selaput yang melindungi seluruh isi telur. Lapisan membran ini memiliki ketebalan kurang lebih 65 mikron (Nurlita, 2014).

Kalsium dalam cangkang telur berada dalam bentuk  $\text{CaCO}_3$  (kalsium karbonat). Kulit telur kering mengandung sekitar 95% kalsium karbonat dengan berat 5,5 gram (Butcher, 1990). Komposisi nutrisi dalam cangkang telur horen secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 1.11

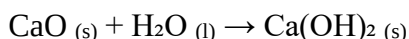
Tabel I. 12 Komposisi Nutrisi dalam Cangkang Telur Horen

| Kandungan Kimia              | Persentase (%) |
|------------------------------|----------------|
| $\text{CaCO}_3$              | 94,67%         |
| $\text{MgCO}_3$              | 1,26%          |
| $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ | 1,26%          |
| $\text{H}_2\text{O}$         | 1,00%          |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$      | 0,63%          |
| $\text{MgO}$                 | 0,93%          |
| $\text{K}_2\text{O}$         | 0,25%          |

#### I.4.3 Kalsium Oksida ( $\text{CaO}$ )

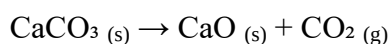
Kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) merupakan senyawa kimia anorganik yang merupakan produk hasil kalsinasi atau pembakaran batu kapur dalam industri manufaktur skala besar. Kalsium oksida juga dikenal dengan sebutan kapur tohor, kapur bakar, atau quicklime. Kalsium oksida memiliki rumus kimia  $\text{CaO}$  dengan komposisi atom kalsium (Ca) dan oksigen (O) dalam perbandingan 1:1 yang membentuk struktur kristal kubik dengan sistem kisi garam (*rock salt structure*). Senyawa ini memiliki sifat fisik berupa padatan kristal tidak berbau, berwarna putih hingga putih kekuningan atau kecoklatan tergantung pada tingkat kemurnian dan kandungan pengotornya seperti magnesium oksida ( $\text{MgO}$ ), aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), dan besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) yang memberikan warna kelabu gelap, kuning pucat, atau coklat pada produk akhir. Kalsium oksida memiliki berat molekul 56,08 g/mol dengan densitas tinggi mencapai 3,34 g/cm<sup>3</sup> pada suhu 25°C, serta memiliki titik lebur sangat tinggi mencapai 2707°C dan titik didih 2850°C pada tekanan 1 atm. Sifat higroskopik kalsium oksida sangat kuat sehingga mudah menyerap kelembapan dan karbon dioksida dari udara, yang berarti material ini harus disimpan dalam kondisi kering dan terisolasi dari udara. Kelarutan kalsium oksida dalam air terbatas hanya sekitar 1,19 g/L pada suhu 25°C, namun yang penting adalah reaksi eksotermis yang sangat *vigorous* terjadi ketika kalsium oksida kontak dengan air membentuk kalsium hidroksida  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dengan melepaskan kalor yang sangat besar.

Kalsium oksida bersifat basa kuat dengan nilai pH larutan jenuh mencapai 12,6 pada suhu 20 °C, yang mengindikasikan sifat alkalinitasnya yang sangat kuat dalam aplikasi industri. Kalsium oksida memiliki kemampuan bereaksi secara eksotermis dengan air membentuk kalsium hidroksida menurut persamaan:



Perubahan entalpi standar  $\Delta H = -63,7 \text{ kJ/mol}$  menunjukkan bahwa reaksi ini melepaskan energi dalam jumlah signifikan.

Proses produksi kalsium oksida secara industri dilakukan melalui metode kalsinasi atau pembakaran batu kapur yang mengandung kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) sebagai komponen utama pada suhu tinggi berkisar 900–1300 °C. Kalsinasi merupakan proses dekomposisi termal dengan reaksi kimia:



Gas  $\text{CO}_2$  yang dihasilkan sebagai produk samping dari proses kalsinasi dapat dimanfaatkan lebih lanjut ketika direaksikan dengan kalsium oksida sebagai bahan baku pembuatan *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) yang merupakan produk bernilai tinggi dengan aplikasi industri yang luas. Berikut disajikan karakteristik fisika dan kimia dari kalsium oksida pada Tabel 1.12 menurut (Yaws, 1999).

Tabel I. 13 Karakteristik Fisika dan Kimia dari Kalsium Oksida

| Karakteristik                                           | Keterangan                  | Satuan            |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Rumus Molekul                                           | CaO                         | -                 |
| Berat Molekul                                           | 56,08                       | g/mol             |
| Titik Didih (1 atm)                                     | 2850                        | °C                |
| Titik Leleh (1 atm)                                     | 2707                        | °C                |
| Titik Nyala                                             | Tidak mudah terbakar        | -                 |
| Bentuk                                                  | Kristal Kubik               | -                 |
| Warna                                                   | Kuning coklat/ putih        | -                 |
| Bau                                                     | Tidak berbau                | -                 |
| Densitas (25°C)                                         | 3,34                        | g/cm <sup>3</sup> |
| Kelarutan Dalam Air                                     | reacts                      | -                 |
| $\Delta H_{\text{fus}}^\circ$ liquid (@25°C)            | 12240                       | cal/mol           |
| $\Delta H_f^\circ$ (@25°C)                              | -151,7                      | kcal/mol          |
| Entropy ( $\Delta S$ )                                  | 40                          | J/mol.K           |
| Kapasitas panas pada tekanan konstan (T=K; 0°C=273.1 K) | $10.00+0.00484T-108000/T^2$ | cal/(molK)        |

#### I.4.4 Air (H<sub>2</sub>O)

Air (H<sub>2</sub>O) merupakan senyawa kimia yang terdiri dari 2 atom hidrogen (H) dan 1 atom oksigen (O) yang membentuk molekul berpolar dengan rumus molekul H<sub>2</sub>O dan berat molekul 18,0152 kg/kmol. Air memiliki sifat fisik berupa cairan yang tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, dan jernih dengan berat jenis 0,998 g/cm<sup>3</sup> pada suhu 293 K (20 °C) serta memiliki titik didih 100 °C dan titik beku 0 °C pada tekanan 1 atm. Air bersifat universal solvent yang mampu melarutkan berbagai senyawa polar dan memiliki pH netral (pH 7). Air juga bersifat sangat higroskopis dan dapat menyerap panas dalam jumlah besar, sehingga menjadikannya sebagai medium pendingin yang sangat efektif. Kelarutan air dalam berbagai komponen organik dan anorganik menjadikan air sebagai bahan yang sangat penting dalam hampir setiap proses kimia industri. Berdasarkan karakteristik fisika dan kimianya, air adalah pelarut yang lebih universal dibandingkan dengan pelarut lainnya dan sering digunakan sebagai standar dalam industri manufaktur.

Air yang digunakan dalam berbagai proses produksi memerlukan pengolahan khusus untuk memastikan kualitas sesuai dengan standar industri dan lingkungan. Proses pengolahan air pada pabrik umumnya meliputi beberapa tahap, yaitu penyaringan awal (*pre-filtration*), pemisahan suspensi dan padatan, pengurangan kesadahan air melalui proses pelunakan (*softening*), demineralisasi untuk menghilangkan mineral Total, dan penambahan bahan kimia tertentu untuk menyesuaikan pH. Air yang telah diolah kemudian ditampung dalam tangki penyimpanan (*storage tank*) sebelum didistribusikan ke berbagai unit penggunaan di dalam pabrik sesuai dengan kebutuhan masing-masing. Berikut disajikan karakteristik fisika dan kimia dari air pada Tabel 1. 14 menurut (Yaws, 1999).

Tabel I. 14 Karakteristik Fisika dan Kimia dari Air

| Karakteristik       | Keterangan       | Satuan |
|---------------------|------------------|--------|
| Rumus Molekul       | H <sub>2</sub> O | -      |
| Berat Molekul       | 18,01            | g/mol  |
| Titik Didih (1 atm) | 100              | °C     |
| Titik beku (1 atm)  | 0                | °C     |
| Titik Nyala         | -                | -      |
| Bentuk              | liquid           | -      |
| Warna               | Tidak berwarna   | -      |
| Bau                 | Tidak berbau     | -      |

| Karakteristik                                              | Keterangan                                                     | Satuan            |
|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------|
| Densitas (25°C)                                            | 0,998                                                          | g/cm <sup>3</sup> |
| $\Delta H_{\text{fus}}^{\circ}$ liquid (@25°C)             | 1436                                                           | cal/mol           |
| $\Delta H_v^{\circ}$ (@25°C)                               | 9729                                                           | cal/mol           |
| $\Delta H_f^{\circ}$ gas (@25°C)                           | -57,7979                                                       | kcal/mol          |
| $\Delta H_f^{\circ}$ liquid (@25°C)                        | -68,3174                                                       | kcal/mol          |
| Entropy ( $\Delta S$ )                                     | 69,95                                                          | J/mol.K           |
| Kapasitas panas pada tekanan konstan<br>(T=K; 0°C=273.1 K) | $276.370 - 2.090,1T + 8,125T^2 - 0,014116T^3 + 9,3701E-06/T^2$ | cal/(molK)        |

#### I.4.5 Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)

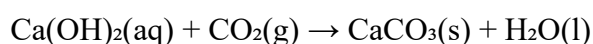
Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) merupakan senyawa gas anorganik yang terdiri dari 1 atom karbon (C) dan 2 atom oksigen (O) yang membentuk molekul linier dengan rumus molekul CO<sub>2</sub> dan berat molekul 44,01 g/mol. Karbon dioksida memiliki sifat fisik berupa gas tak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa pada kondisi standar, dengan titik sublimasi -78,5 °C pada tekanan 1 atm. Gas ini memiliki densitas yang lebih besar daripada udara dan bersifat sedikit asam ketika larut dalam air, membentuk asam karbonat (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Karbon dioksida tidak mudah terbakar dan bersifat inert terhadap kebanyakan senyawa, namun dapat bereaksi dengan basa kuat seperti kalsium hidroksida Ca(OH)<sub>2</sub> untuk membentuk kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>). Struktur molekul CO<sub>2</sub> yang linear dan simetris memberikan sifat gas yang stabil dan mudah disimpan dalam tabung bertekanan untuk keperluan industri.

Dalam dunia perindustrian di Indonesia, karbon dioksida merupakan produk samping (*by-product*) yang dihasilkan dari berbagai proses industri, khususnya dari proses kalsinasi atau pembakaran batu kapur yang mengandung kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>). Pada proses kalsinasi batugamping dalam pabrik kalsium oksida (CaO), karbon dioksida dihasilkan sebagai produk samping dari reaksi kimia:



Karbon dioksida yang keluar dari *Rotary Kiln* kemudian dialirkan ke dalam preheater yang bertujuan untuk pemanasan awal padatan. Kemudian setelah melewati preheater, karbon dioksida tersebut didinginkan menjadi suhu 70 °C sebelum diumpankan kembali ke dalam reaktor untuk proses (R-510) untuk membantu proses karbonisasi.

Karbon dioksida yang dihasilkan dari ketiga proses industri tersebut memiliki nilai pasar dan nilai lingkungan yang sangat penting sehingga memerlukan pemanfaatan yang tepat untuk meningkatkan nilai guna. Gas CO<sub>2</sub> dari proses kalsinasi batugamping dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan baku untuk pembuatan PCC melalui proses karbonasi yang akan meningkatkan nilai ekonomi proses produksi secara keseluruhan. Pada proses pembuatan PCC, gas CO<sub>2</sub>. Reaksi yang terjadi adalah:



Pemanfaatan CO<sub>2</sub> untuk produksi PCC ini akan mengurangi emisi gas rumah kaca ke atmosfer dan menciptakan industri yang ramah lingkungan dengan menciptakan nilai tambah produk bernilai tinggi. Berikut disajikan karakteristik fisika dan kimia dari karbon dioksida pada Tabel I.15 menurut Yaws (1999).

Tabel I. 15 Karakteristik Fisika dan Kimia dari Karbon Dioksida

| Karakteristik                                              | Keterangan                  | Satuan            |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Rumus Molekul                                              | CO <sub>2</sub>             | -                 |
| Berat Molekul                                              | 44,01                       | g/mol             |
| Titik Didih (1 atm)                                        | -78,4                       | °C                |
| Titik leleh (1 atm)                                        | -57,5                       | °C                |
| Titik Nyala                                                | -                           | -                 |
| Bentuk                                                     | Gas                         | -                 |
| Warna                                                      | Tidak berwarna              | -                 |
| Bau                                                        | Tidak berbau                | -                 |
| Densitas (25°C)                                            | 1,798                       | g/cm <sup>3</sup> |
| $\Delta H_{\text{fus}}^\circ$ liquid<br>(@25°C)            | 1900                        | cal/mol           |
| $\Delta H_v^\circ$ (@25°C)                                 | 6030                        | cal/mol           |
| $\Delta H_f^\circ$ gas (@25°C)                             | -94.052                     | kcal/mol          |
| Entropy (ΔS)                                               | 213,8                       | J/mol.K           |
| Kapasitas panas pada tekanan konstan<br>(T=K; 0°C=273.1 K) | $10.34+0.00274T-195500/T^2$ | cal/(molK)        |

#### I.4.6 Kalsium Karbonat sebagai produk

Kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) merupakan senyawa kimia anorganik yang merupakan produk hasil dari reaksi karbonasi atau presipitasi dalam industri manufaktur skala besar.



Kalsium karbonat juga dikenal dengan sebutan batu kapur (*limestone*), kapur presipitat (*Precipitated Calcium Carbonate/PCC*), atau batu gamping. Kalsium karbonat memiliki rumus kimia  $\text{CaCO}_3$  dengan komposisi atom kalsium (Ca), karbon (C), dan oksigen (O) dalam perbandingan 1:1:3 yang membentuk struktur kristal dengan berbagai tipe bentuk kristal yaitu kalsit, vaterit, dan aragonit tergantung pada kondisi proses pembentukan. Senyawa ini memiliki sifat fisik berupa padatan kristal berwarna putih hingga putih kekuningan atau kecoklatan tergantung pada tingkat kemurnian dan kandungan pengotor seperti magnesium karbonat ( $\text{MgCO}_3$ ), besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), dan silika ( $\text{SiO}_2$ ), tidak berbau, dan berbentuk padat. Kalsium karbonat memiliki berat molekul 100,09 g/mol. Kalsium karbonat bersifat termolabil yang mudah terdekomposisi pada suhu tinggi ( $>825^\circ\text{C}$ ) menjadi kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) dan gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), sehingga penyimpanannya harus diperhatikan dengan menyimpannya dalam tempat yang sejuk, kering, dan terlindung dari kelembaban udara serta terhindar dari kontak langsung dengan asam.

Kemurnian kalsium karbonat presipitat yang dihasilkan diklasifikasikan sesuai dengan tingkat (*grade*) kemurnian dan aplikasi yang diinginkan, dimana kalsium karbonat dengan kemurnian 98-99% digunakan untuk aplikasi *industrial grade* atau *technical grade* dalam industri kertas, cat, dan plastik. Kalsium karbonat dengan kemurnian di atas 99,5% diklasifikasikan sebagai *pharmaceutical grade* untuk digunakan dalam industri farmasi dan kosmetik dengan standar yang lebih ketat. Berikut disajikan karakteristik fisika dan kimia dari  $\text{CaCO}_3$  pada Tabel I.2 menurut Yaws (1999).

Tabel I. 16 Karakteristik Fisika dan Kimia dari  $\text{CaCO}_3$

| Karakteristik       | Keterangan                                                    | Satuan           |
|---------------------|---------------------------------------------------------------|------------------|
| Rumus Molekul       | $\text{CaCO}_3$                                               | -                |
| Berat Molekul       | 100.09                                                        | g/mol            |
| Titik Didih (1 atm) | -78,4                                                         | $^\circ\text{C}$ |
| Titik leleh (1 atm) | -1282                                                         | $^\circ\text{C}$ |
| Titik Nyala         | -                                                             | -                |
| Bentuk              | padatan kristal (3 polimorf: kalsit, aragonit, vaterit)       | -                |
| Warna               | putih (murni), putih kekuningan/ kecoklatan (dengan pengotor) | -                |
| Bau                 | Tidak berbau                                                  | -                |

| Karakteristik                                              | Keterangan                                        | Satuan            |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------|
| Densitas (25°C)                                            | 2.71 (calcite), 2.83 (aragonite), 2.54 (vaterite) | g/cm <sup>3</sup> |
| $\Delta H_{\text{fus}}^{\circ}$ liquid (@25°C)             | 12700                                             | cal/mol           |
| $\Delta H_{\text{f}}^{\circ}$ gas (@25°C)                  | -289,5 (calcite), -289,54 (aragonite)             | kcal/mol          |
| Entropy ( $\Delta S$ )                                     | 92,9                                              | J/mol.K           |
| Kapasitas panas pada tekanan konstan<br>(T=K; 0°C=273.1 K) | $19.68 + 0,01189T - 307600/T^2$                   | cal/(molK)        |

Tabel I. 17 Syarat Mutu PCC Berdasarkan ISO 3262-2:1998

| Item                                          | Index               |
|-----------------------------------------------|---------------------|
| <i>Purity</i>                                 | 96-99,99%           |
| <i>Whiteness</i>                              | 90-97%              |
| pH                                            | 8,5-10,5            |
| <i>Spesific Gravity</i> (gr/cm <sup>3</sup> ) | 2,5                 |
| <i>Brightness</i>                             | >95%                |
| <i>Moisture</i>                               | <0,9 %              |
| <i>Appearance</i>                             | <i>White Powder</i> |