

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Ilmu Pertahanan

Ilmu pertahanan terlahir dari perkembangan ilmu militer dan ilmu perang, hal ini menunjukkan bahwa ilmu pertahanan hanya terbatas pada pertahanan militer untuk kepentingan perang. Pihak yang terlibat dalam peperangan akan berupaya untuk memenangkan peperangan dan menggunakan strategi yang sebaik-baiknya untuk mewujudkannya berdasarkan sumber daya yang tersedia. Setiap pihak akan berupaya secara maksimal agar mampu bertahan menggunakan kemampuan militer secara efektif dan efisien sebelum memasuki arena peperangan.

Pertahanan negara berfungsi untuk mewujudkan dan mempertahankan seluruh wilayah NKRI sebagai satu kesatuan pertahanan, yang mampu melindungi kedaulatan negara, keutuhan wilayah, serta keselamatan segenap bangsa dari setiap ancaman, baik yang datang dari luar maupun yang timbul di dalam negeri. Upaya mewujudkan dan mempertahankan seluruh wilayah NKRI sebagai satu kesatuan pertahanan diselenggarakan dalam fungsi penangkalan, penindakan, dan pemulihan (Buku Putih Pertahanan Indonesia, 2015).

Salah satu upaya mempertahankan negara dalam fungsi penangkalan, adalah dengan memperkuat alat utama sistem persenjataan Tentara Nasional Indonesia sebagai *deterrence effect* bagi negara lain. Alutsista yang dimiliki Indonesia saat ini sebagian besar masih merupakan pengadaan atau produksi dari luar negeri, sehingga agar kekuatan militer Indonesia semakin meningkat di mata dunia, Indonesia perlu untuk semakin memperkuat kemandirian dalam industri pertahanan. Agar dapat segera mewujudkan hal tersebut,

Indonesia juga harus terus mengembangkan teknologi pertahanannya dengan cara selalu bekerja sama antar semua *stakeholder* yang biasanya disebut dengan *quarter helic* yaitu Pemerintah sebagai pembuat kebijakan, TNI sebagai pengguna, Institusi Pendidikan, dan Industri Pertahanan. Kerjasama tersebut harus selalu dilaksanakan secara berkesinambungan agar pengembangan teknologi yang dilakukan oleh institusi pendidikan yang berlanjut ke arah produksi oleh industri pertahanan, adalah benar-benar merupakan kebutuhan dari TNI sebagai pengguna dan pelaksanaannya didukung dengan kebijakan dari Pemerintah.

## **2.2 Kemandirian Industri Pertahanan**

Pengembangan teknologi industri pertahanan Indonesia diarahkan untuk membangun kemampuan untuk menghasilkan Alpalhankam yang memenuhi persyaratan operasional diantaranya adalah memiliki kualitas yang tinggi, tahan terhadap cuaca, akurasi, daya gempur dan kecepatan yang tinggi. Dalam pemberdayaan industri pertahanan memerlukan kerjasama antarpemangku kepentingan yaitu pemerintah sebagai regulator, pengguna sebagai produsen serta Komite Kebijakan Industri Pertahanan (KKIP) sebagai penyelenggara fungsi yang merumuskan dan mengevaluasi kebijakan mengenai pengembangan maupun pemanfaatan industri pertahanan.

Adapun pemangku kepentingan dalam industri pertahanan telah menentukan program prioritas penguasaan teknologi di Indonesia. Beberapa program prioritas kemandirian industri pertahanan adalah pembangunan dan pengembangan kapal selam, pesawat tempur, medium tank, roket, rudal, radar, propelan, pesawat terbang tanpa awak (PTTA), penginderaan bawah air dan satelit militer. Kemampuan industri pertahanan terlihat pada tingkat kesiapan manufaktur dan teknologi. Keberlanjutan teknologi diperkuat oleh

perguruan tinggi, lembaga ilmu pengetahuan dan teknologi, dan lembaga penelitian dan pengembangan melalui penelitian ilmu dasar dan terapan. Penguasaan teknologi industri pertahanan akan mengangkat posisi tawar dalam penguasaan teknologi pertahanan.

Direktur Utama PT Pindad Abraham Mose mengatakan, fasilitas produksi amunisi baru milik Pindad itu akan beroperasi penuh di akhir tahun ini (2019) dimana produksi untuk kaliber kecil itu kapasitas produksi 120 juta butir per tahun, akan menjadi 290 juta, hampir 300 juta butir per tahun dengan adanya penambahan mesin-mesin baru. Produksi yang hampir menembus 300 juta butir per tahun itu belum bisa memenuhi semua kebutuhan amunisi TNI. Kebutuhan TNI itu bisa sampai 500 juta butir per tahun. Sehingga masih ada sekitar 200 juta butir atau 40% dari kebutuhan munisi yang belum terpenuhi dan harus melakukan import untuk memenuhinya. Dalam kebutuhan 500 juta butir MKK tersebut terdapat 25% merupakan kebutuhan MKK untuk kaliber lainnya.

Dari data, untuk kebutuhan 500 juta butir peluru MKK membutuhkan propelan sebanyak 800 ton (Budi Antono, 2021), maka untuk memenuhi propelan MKK lainnya dengan kebutuhan 25% dari kebutuhan MKK total maka diperoleh kebutuhan propelannya sekitar 200 ton. Asumsi kebutuhan untuk MKK kaliber .38 adalah 2-3% maka jumlah propelan yang dibutuhkan sekitar 4 ton. Kapasitas *miniplant* yang dirancang untuk 1,5 ton/tahun merupakan jumlah minimal produk yang dapat diproduksi pada *miniplant* dan kapasitas 1,5 ton tersebut memenuhi jumlah sampel yang digunakan untuk analisis fisik dan kimia untuk penentuan kualitas produk sehingga dapat menciptakan formulasi propelan yang sesuai dengan spesifikasi kebutuhan pengguna.

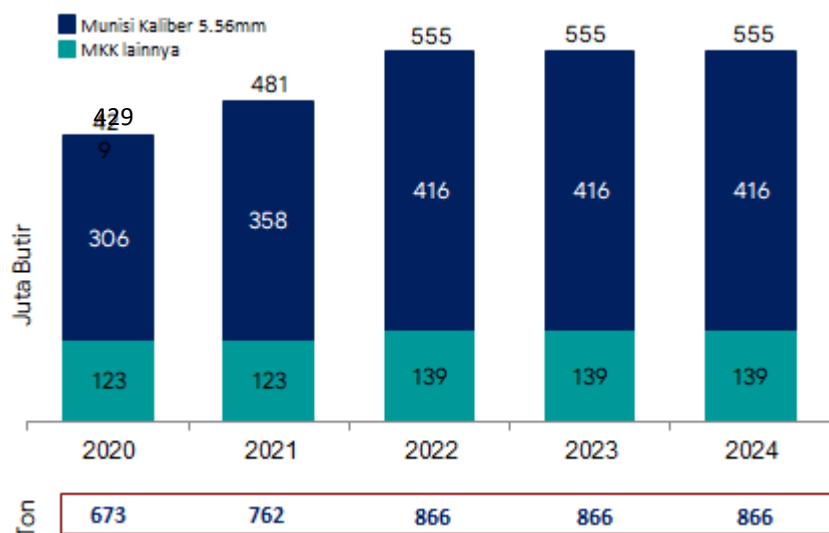
## 2.3 Kebutuhan Munisi Kaliber Kecil (MKK) untuk TNI

**Tabel 2.1** Kebutuhan Propelan Tahun 2014-2020

DESKRIPSI	KEBUTUHAN (KG)						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
PROPELLANT KAL. 5,56 MM L.110/M856	1.582	2.137	1.059	492	2.703	679	3.227
PROPELLANT KAL. 7,62 MM M80 MU2-TJ	14.732	29.859	16.430	17.293	28.539	18.704	22.733
PROPELLANT SS-109/M855 KAL. 5,56 MM	120.020	187.994	167.963	168.521	196.160	138.098	197.223
PROPELLANT KAL. .38 SPC	700	339	619	676	308	441	289
PROPELLANT KAL. 12,7X99 MM	11.550	16.259	6.762	4.528	17.625	11.633	12.563
PROPELLANT KAL. 7,62X51 MM BLANK MU2-H	340	335	-	-	1.544	368	555
PROPELLANT KAL. 9X19 MM	4.336	6.345	3.789	6.847	14.141	15.873	20.407
PROPELLANT KAL.5.56 MM BLANK	12.449	13.296	4.314	2.095	5.251	2.989	4.771
PROPELLANT KAL. 7,62 MM TRACER MU2-N	1.545	2.751	796	600	3.012	2.459	2.166
PROPELLANT KAL. 7,62 X 39 MM (AK)	2.536	7.029	2.499	403	1.881	167	3.884
	169.789	266.344	204.231	201.456	270.163	191.411	267.820

Sumber: Yayat Ruyat, (2021)

Berdasarkan tabel di atas, kebutuhan propelan cenderung meningkat dari tahun 2014 hingga 2020 dan kemungkinan meningkat untuk tahun berikutnya. Untuk kebutuhan propelan munisi kaliber 5.56 mm sendiri pada tahun 2020 menyentuh angka 3.227 kg atau 3 ton lebih dan untuk *blank ammunition* 5.56 mm mencapai angka 4.771 kg atau 4,5 ton lebih sehingga dibutuhkan peningkatan kapasitas produksi propelan.



**Gambar 2.1** Kebutuhan Propelan di Indonesia dalam Renstra TNI 2020-2024

Sumber: Yayat Ruyat (2021)

Dari Gambar 2.1 atas dapat diketahui bahwa kebutuhan propelan di Indonesia dalam renstra TNI dari tahun 2020 hingga 2024 mengalami kenaikan. Dari tahun 2020 sampai tahun 2022 kebutuhan propelan untuk MKK mengalami kenaikan sebanyak 126 juta butir. Hal ini dikarenakan kebutuhan TNI dan Polri tersebut dari tahun ke tahun selalu meningkat seiring dengan peningkatan profesionalisme prajurit TNI/Polri melalui latihan yang sudah terprogram dan juga untuk keperluan bekal pokok di lapangan. Kemudian di tahun selanjutnya diperkirakan stagnan kebutuhan MKK dikarenakan PT. Pindad sebagai pemasok utama MKK telah meningkatkan jumlah produksinya dan telah menjaga kesiapan semua sumber daya (mesin, manusia, material dll) yang tersedia dan dibantu oleh PT Dahana sebagai industry pendukungnya.

Kebutuhan propelan untuk munisi kaliber 5,56mm atau sering disebut munisi kaliber kecil (MKK) lebih besar dibandingkan kebutuhan untuk munisi lainnya. Propelan *single base* adalah propelan yang umum digunakan untuk munisi kaliber kecil (MKK) di Indonesia. Propelan *single base* MKK adalah jenis propelan yang diproduksi sebagai bahan bakar dan sistem propulsi pada sistem munisi. Tingginya kebutuhan propelan terutama untuk Munisi Kaliber Kecil (MKK) menuntut industri pertahanan nasional terutama PT. Dahana harus mampu memproduksi dalam jumlah besar dalam memenuhi kemandirian propelan nasional. Pada penelitian ini difokuskan untuk memenuhi semua kebutuhan propelan dalam negeri untuk kaliber 5.56 mm munisi hampa. Munisi hampa sendiri dipilih karena kebutuhan munisi hampa meningkat seiring dengan kebutuhan untuk sarana latihan prajurit TNI.

## **2.4 Propelan**

Propelan adalah senyawa kimia yang tersusun dari beberapa zat kimia, senyawa kimia tersebut digunakan untuk memproduksi energi atau gas bertekanan tinggi. Propelan adalah salah satu bahan terpenting dari sistem munisi, roket dan rudal (Cho, et al., 2016). Propelan terdiri dari bahan-bahan utama (*fuel dan oksidator*) serta tambahan zat aditif yang terbakar sebagai hasil dari reaksi kimia dan mengubah tenaga potensial yang dimiliki menjadi tenaga kinetik, terbakar secara kontinu dan terkontrol di dalam ruang bakar. Oleh karena tekanan pembakaran yang tinggi dan tekanan udara luar yang rendah, maka gas akan berekspansi melalui daerah konvergen-divergen pada nosel (Qadri, Setiawan, & Teguh, 2014). Gas-gas hasil pembakaran ini kemudian dimanfaatkan sebagai zat pendorong pada sistem propulsi balistik, baik berupa munisi, roket, dan peluru kendali (rudal). Prinsip dari proses pembakaran pada propelan terjadi dalam keadaan adiabatik, dan oksigen berperan dalam proses pembakaran tersebut, hal ini lah yang menjadi sifat penting pada pembakaran propelan, dikarenakan hal ini memiliki peran secara langsung dalam mempengaruhi nilai *spesifik impulse* (Chaturvedi & Dave, 2015). Berdasarkan wujudnya, propelan terdiri dari 2 jenis yaitu;

- a. Propelan Cair, dibedakan lagi menjadi 2 yaitu roket monopropellant karena menggunakan satu zat tunggal namun mengandung zat pengoksidasi dan zat lainnya, roket bipropellant menggunakan dua jenis propelan cair terpisah yaitu sebuah pengoksidasi dan bahan bakar;
- b. Propelan Padat, ialah propelan yang berbentuk padat atau propelan non fluida, propelan padat ini dibedakan menjadi beberapa jenis, antara lain *single base, double base, triple base*, komposit (Sutton, 2001).

Jika ditinjau dari komposisi penyusunnya, propelan padat terdiri dari dua tipe, yaitu propelan padat homogen dan propelan padat

heterogen. Propelan padat homogen disusun oleh nitroselulosa sebagai bahan dasarnya dan komposisi lain berupa senyawa organik. Propelan ini dibagi lagi menjadi tiga berdasar komposisi penyusunnya, yaitu *single base*, *double base* dan *triple base*. Propelan *single base* hanya menggunakan *nitroselulose* sebagai bahan baku, pada *double base nitroselulose* dipadukan dengan *nitrogliserin* sebagai bahan utama dan yang terakhir *triple base* memanfaatkan bahan baku *double base* ditambah dengan *nitroguanidin*.

Propelan merupakan bahan bakar suatu senjata konvensional yang mampu mengubah energi yang dimilikinya menjadi energi kinetik saat terjadi pembakaran ketika munisi telah diketuk pada primernya. Salah satu parameter penting yang mempengaruhi kinerja munisi adalah tingkat pembakaran propelannya. Pembakaran ini menghasilkan tekanan gas dan mampu memberikan gaya dorong yang mampu menggerakkan dan mempercepat laju proyektil ke depan dan keluar dari laras senjata. Gaya dorong ini dipengaruhi oleh komposisi zat penyusun propelan ini sendiri. Nilai pembakaran tergantung pada banyak faktor seperti tekanan ruang bakar, geometri propelan, suhu pembakaran, komposisi propelan, oksidator dan lainnya.

Propelan yang digunakan pada munisi diproduksi oleh banyak produsen dan masing-masing mempunyai karakteristik yang berbeda-beda. diantaranya nilai kalori yang berbeda pula, hal ini akan menyebabkan hasil pembakaran yang dihasilkan juga berbeda yang nantinya akan mempengaruhi kinerja munisi yang diproduksi dalam negeri. Dalam mendukung pertahanan negara, industri pertahanan Indonesia diharapkan mampu mempertahankan kualitas kinerja dihasilkan dengan karakteristik propelan yang stabil. Salah satu hal yang dapat dilakukan adalah memiliki kemandirian dibidang propelan, baik mandiri dalam hal produksi maupun pengembangan selanjutnya.

Bahan propelan yang digunakan untuk mengisi munisi kaliber kecil harus memiliki syarat yaitu kecepatan pembakaran yang cepat dan sensitivitas rendah. Laju pembakaran meningkat dengan kenaikan energi sistem. Apabila propelan memiliki energi yang cukup besar maka akan menghasilkan daya dorong yang dengan waktu pembakaran yang cukup singkat. Sensitivitas rendah menunjukkan bahwa propelan harus cukup stabil dan tidak mudah meledak jika tidak dipicu.

Dalam pengembangan industri propelan dalam negeri, kita harus mengetahui terlebih dahulu karakteristik propelan yang ada dipasaran dan telah digunakan industri dalam negeri dalam mengisi munisi kaliber kecil. Karakteristik propelan akan berpengaruh terhadap kinerja balistik yang dihasilkan oleh munisi. Diketahui bahwa propelan yang digunakan oleh industri dalam negeri berasal dari produsen yang berbeda, dimana setiap produsen menghasilkan bentuk partikel propelan yang berbeda seperti *ball*, *flattered ball*, dan *extruded with single perforated*. Reaksi pembakaran propelan tidak hanya tergantung pada komposisi bahannya, namun juga ukuran, bentuk dan kepadatannya. Propelan dalam berbagai bentuk dan sifat fisik dapat memiliki sifat yang berbeda sesuai dengan penggunaan masing-masing propelan. Tingkat pembakaran propelan meningkat dengan penurunan ukuran partikelnya. Sama halnya dengan munisi, jenis munisi yang berbeda dapat memerlukan propelan dengan kuantitas berbeda sesuai persyaratan balistik yang hendak dicapai. Propelan dari produsen berbeda dengan jumlah massa yang sama dapat menghasilkan energi pembakaran berbeda, hal ini akan berpengaruh terhadap balistik interior yang dihasilkan.

## **2.4 Munisi**



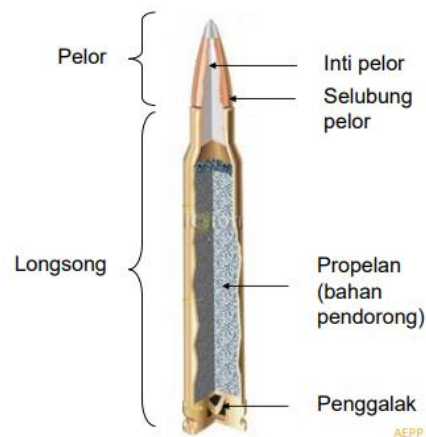
**Gambar 2.2** Klasifikasi Munisi Berdasarkan Ukuran Kaliber  
(Yayat Ruyat, 2021)

Munisi merupakan alat yang berfungsi untuk merusakkan atau menghancurkan sasaran. Berdasarkan ukuran kalibernya, ukuran diameter dari amunisi dibedakan menjadi 3 yaitu munisi kaliber kecil, sedang, dan besar. Bagian pokok penyusun munisi kaliber sedang meliputi proyektil, propellan, dan primer. Proyektil berfungsi untuk merusakkan sasaran, propellant berfungsi mendorong proyektil keluar dari laras dengan tenaga dan kecepatan tertentu, sedangkan bagian primer berfungsi sebagai penyalah awal propelan munisi.

Dalam memproduksi munisi diperlukan propelan sebagai zat esensial, namun propelan yang digunakan dalam negeri hingga saat ini masih impor dari luar negeri. Ada beberapa negara yang menjadi produsen propelan untuk Indonesia yaitu Belgia, Perancis, Swiss, Finlandia, China, Korea, Taiwan, dan Yugoslavia. Kebutuhan propelan di Indonesia dari tahun 2002 hingga 2014 adalah sebanyak 1,007,394 kg. Industri propelan pada munisi kaliber kecil merupakan industri strategis, hal ini sesuai dengan data dari Dirjen Pothan dimana kebutuhan propelan pertahun pada munisi kaliber kecil merupakan paling banyak dibutuhkan di Indonesia dibandingkan dengan propelan munisi kaliber besar dan propelan roket. Pada penelitian ini difokuskan

untuk melakukan simulasi sistem produksi untuk propelan munisi kaliber kecil.

## 2.5 Munisi Kaliber Kecil (MKK)



**Gambar 2.3** Struktur Munisi Kaliber Kecil (MKK)

(Yayat Ruyat, 2021)

Munisi kaliber kecil (MKK) merupakan munisi yang digunakan pada senjata ringan kaliber 5.56 mm hingga 12.7 mm seperti pada senapan serbu. Munisi yang diproduksi dalam negeri mengikuti standar NATO yaitu STANAG 4172 dimana menggunakan munisi 5.56x45 mm. Setiap munisi yang digunakan dalam militer memiliki fungsi yang berbeda-beda sesuai dengan karakteristik yang diharapkan oleh penggunaannya.

Ada beberapa macam jenis munisi yang biasa digunakan dalam militer, berdasarkan karakteristik pelornya maka munisi dibagi menjadi beberapa jenis yaitu (Yayat Ruyat, 2021):

- 1) *Ball ammunition*, terdiri dari inti timah yang dibungkus logam, digunakan untuk melawan personel. Amunisi ini merupakan jenis yang paling umum, yang dikenal hanya sebagai munisi senjata ringan, dapat digunakan dalam kegiatan pelatihan penggunaan senjata.

- 2) *Armor piercing*, terdiri dari baja yang keras di bungkus logam, untuk menembus target baja, seperti pesawat musuh, kendaraan lapis baja ringan, tempat penampungan beton, dll.
- 3) *Blank Ammunition*, terdiri atas propelan dalam kotak kartrid, tanpa proyektil dan digunakan untuk memberi sinyal, memberi hormat atau mensimulasikan api.
- 4) *Guard ammunition*, mengandung muatan propelan yang lebih sedikit, digunakan untuk tujuan penjagaan, di mana tidak memerlukan jarak yang jauh dan kecepatan tinggi.
- 5) *High-pressure test ammunition (HPT)*, menggunakan proyektil yang lebih berat dan mengandung muatan propelan yang berlebih, untuk tujuan menghasilkan tekanan pada senjata yang lebih tinggi dari biasanya.



**Gambar 2.4** *Blank Ammunition* Kaliber 5.56 mm

(<https://www.pindad.com/>, 2021)

Peluru hampa (*blank ammunition*) merupakan peluru senjata api yang berisi mesiu tetapi tidak memiliki proyektil pada ujungnya, sehingga tidak berbahaya. Peluru hampa cuma berupa selongsong dan penyumbat mesiu pada ujung dan penggunaannya hanya untuk memberi suara peringatan yang cukup keras dan kilatan api saja saat ditembakkan. Munisi hampa artinya, peluru yang digunakan

menembak bukan peluru karet atau peluru tajam yang mematikan. Keuntungan dari penggunaan munisi adalah tingkat kecelakaan, seperti peluru nyasar ke warga sipil, selama latihan perang pasukan dapat dikurangi. Peluru hampa tidak menimbulkan luka.

Pada penelitian ini difokuskan untuk melakukan simulasi sistem produksi untuk propelan munisi kaliber kecil (MKK) *blank* kaliber 5.56 mm karena merupakan propelan yang belum terpenuhi ketersediaannya meskipun dibutuhkan dalam jumlah sedikit sehingga untuk skala *miniplant* cukup untuk memenuhi kebutuhan tersebut.

## 2.6 Teori *Miniplant* Sistem Produksi

*Miniplant* adalah suatu sistem pemrosesan dalam skala kecil yang dioperasikan untuk menghasilkan informasi mengenai perilaku sistem yang digunakan dalam perancangan fasilitas-fasilitas skala besar. *Miniplant* adalah unit kecil yang dirancang agar dapat digunakan untuk melakukan berbagai eksperimen untuk mendapatkan data bagi perancangan unit-unit yang lebih besar. Keuntungan pembuatan *miniplant* pada hakekatnya lebih murah untuk dibangun dibanding proses skala besar sehingga dapat mengurangi kemungkinan resiko dalam suatu proyek yang mungkin tidak efisien. Untuk lebih lanjutnya, perubahan desain dapat dibuat lebih murah di skala *miniplant* dan titik temu di dalam proses dapat direncanakan sebelum pabrik skala besar dibangun.

Keuntungan lain dari pembuatan *miniplant* yaitu menyediakan data yang berharga untuk perancangan pabrik skala penuh. Data ilmiah misalnya tentang reaksi-reaksi, bahan material, korosivitas, bisa tersedia, tetapi sulit untuk memperkirakan perilaku dari suatu proses dengan banyak kompleksitas. Para perancang menggunakan data dari *miniplant* untuk memperhalus rancangan fasilitas skala produksi. Pada beberapa kasus, pembuatan skala pada *miniplant* merupakan

media pembelajaran untuk mendapatkan informasi dan data mengenai teknik produksi dan teknik desain. Umumnya, hal-hal yang perlu dipelajari pada pembuatan miniplant antara lain:

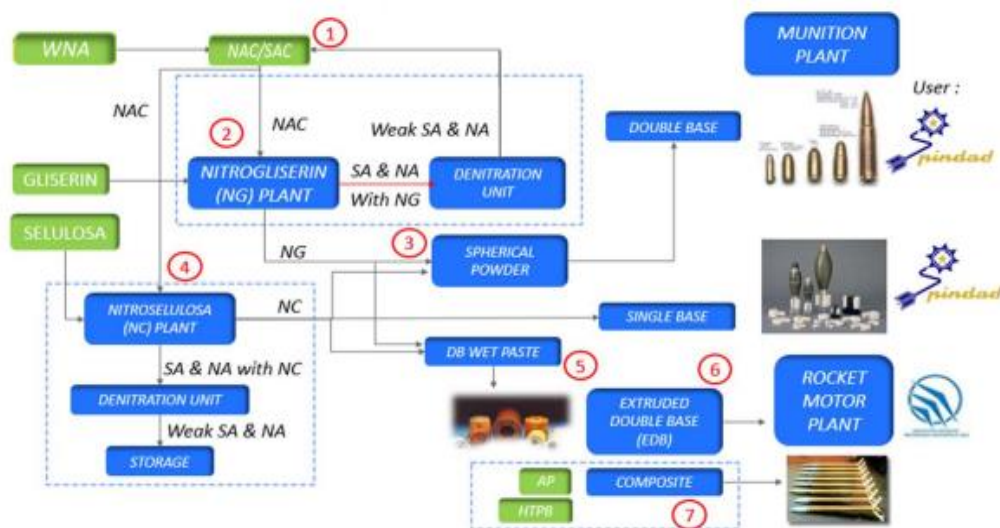
**Tabel 2.2** Data dan Informasi dalam Sistem *Miniplant*

Aspek Produksi	Ruang Lingkup
Studi mengenai produk	karakterisasi kualitas, pengaruh kondisi proses pada kualitas produk, pengembangan produk baru, studi penerimaan pasar/kebutuhan pengguna
Studi mengenai bahan baku	karakterisasi bahan baku, evaluasi perencanaan dengan menggunakan materi bahan baku yang berbeda
Studi mengenai teknologi proses	kondisi proses yang paling sesuai secara segi ekonomi (biaya yang minimal) dan segi kualitas produk (mendapatkan produk berkualitas), studi mengenai alternatif peralatan proses, pengembangan teknologi baru, pengembangan peralatan baru
Studi kebutuhan pelengkap	evaluasi kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi, studi mengenai energi, dan pengembangan dan evaluasi sebagai alternatif sistem control

Peningkatan skala (*scale up*) merupakan suatu tindakan atau kegiatan yang menggunakan hasil-hasil yang diperoleh dari studi laboratorium untuk merancang prototype dan proses di *miniplant*, serta membangun *miniplant* dan menggunakan data *miniplant* untuk merancang dan membangun pabrik skala penuh atau memodifikasi pabrik yang sudah ada. Berdasarkan proses dan tingkat produksi yang

diinginkan, *scale-up* merupakan proses yang cukup sulit untuk diaplikasikan. Oleh karena itu, perlu dilakukan percobaan-percobaan yang bersifat kontinyu. Percobaan-percobaan ini dibutuhkan untuk menentukan parameter optimum untuk skala besar dan untuk menentukan desain peralatan yang dimodifikasi. Oleh karena itu, pengetahuan dasar tentang interaksi kimia fisik diantara komponen produk penting untuk dipahami. Apabila tidak diperhatikan sifat kimia dan fisik, kemungkinan besar akan terjadi kerusakan produk terutama pada formulasi yang digunakan. Beberapa peralatan akan membantu dalam penentuan ukuran dan ciri-ciri peralatan yang dibutuhkan atau spesifikasi alat yang akan menjadi referensi untuk pembelian alat.

## 2.7 Diagram Produksi Propelan

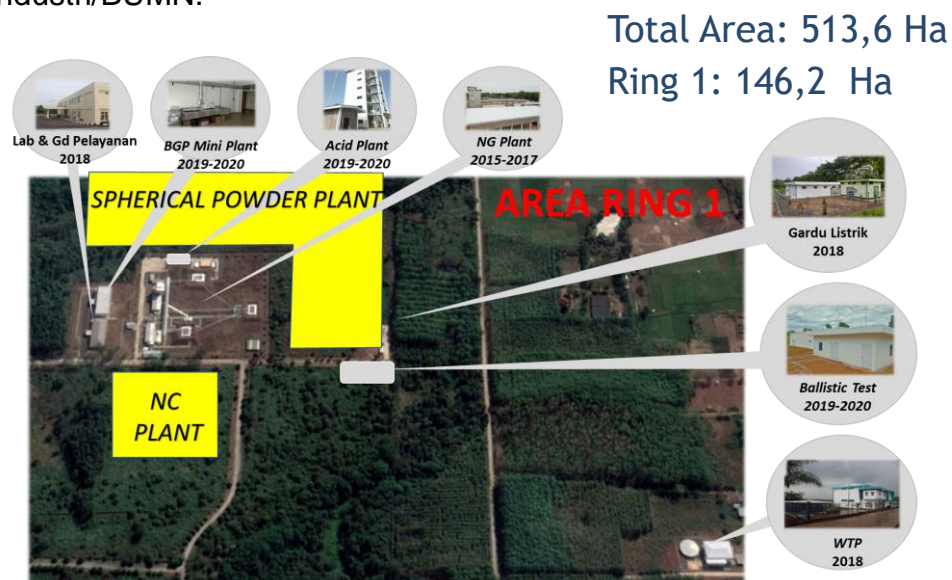


**Gambar 2.5** Diagram Alir Produksi Propelan PT. Dahana

Sumber: Budi Antono (Direktur Utama PT Dahana), 2021

Propelan *spherical powder* yang direncanakan diproduksi di PT. Dahana, merupakan bahan baku pembuatan peluru untuk munisi kaliber kecil (MKK). Kebutuhan bahan baku seperti Nitrogleserin (NG)

dan Nitroselulosa (NC) masih diimpor dari luar negeri. Pabrik NC yang ada di Indonesia hanya mampu memproduksi NC industrial grade, sementara NC yang digunakan untuk memproduksi propelan adalah NC *military grade*. Sehingga untuk kebutuhan produksi perlu dibangun pabrik NC dengan spesifikasi *military grade* atau pengadaan NC melalui impor terlebih dahulu. Metode produksi yang digunakan melalui *chemical graining*. Produk akhir hasil produksi berupa propelan *double base* sesuai dengan poin 3 pada bagan di atas. Kendala yang dihadapi sampai dengan saat ini adalah keterbatasan kemampuan pendanaan apabila pabrik ini akan didirikan oleh industri/BUMN.



**Gambar 2.6** Posisi Miniplant PT Dahana

Sumber: Budi Antono (Direktur Utama PT Dahana), 2021

Posisi miniplant PT Dahana sendiri terletak di area ring 1 dimana di area ini terdapat beberapa plant baik plant untuk menyimpan bahan baku seperti NC plant, NG plant, acid plant, dan juga terdapat instalasi lain seperti laboratorium dan pelayanan, instalasi pengolahan limbah (WTP), instalasi listrik dan tempat pengujian.



**Gambar 2.7** Tahapan Pembangunan Plant Propelan PT Dahana  
Sumber: Budi Antono (Direktur Utama PT Dahana), 2021

Berdasarkan gambar di atas, rencana pembangunan plant propelan spherical powder untuk kebutuhan munisi direncanakan memiliki kapasitas keseluruhan mencapai 900 ton/tahun dimana salah satunya didalamnya dihasilkan dari miniplant propelan. Miniplant propelan sendiri dalam penelitian ini direncanakan memiliki kapasitas produksi 1,5 ton/tahun dikhususkan untuk memenuhi kebutuhan propelan munisi hampa kaliber 5.56 mm dimana dibutuhkan oleh PT Pindad dalam jumlah yang sedikit saja.

## 2.8 Teori Penetapan Kapasitas Produksi

Di dalam industri pangan skala besar terdapat beberapa unit operasi yang saling terkait satu sama lain. Namun, untuk itu untuk mendapatkan proses yang ideal dalam membuat produk baru merupakan hal yang sulit. Untuk mendapatkan produk yang sesuai dalam proses pembuatan produksi dari skala penelitian laboratorium hingga skala besar, perlu dilakukan tahapan sebagai berikut:



**Gambar 2.8** Alur Proses Pembuatan Skala Produksi

(Helmus F P., 2008)

Beberapa faktor dapat mempengaruhi ukuran dari *miniplant*. Umumnya ukuran minimal diambil dari jumlah produk minimal yang dibutuhkan untuk analisa pengontrolan kualitas. Contohnya, apabila

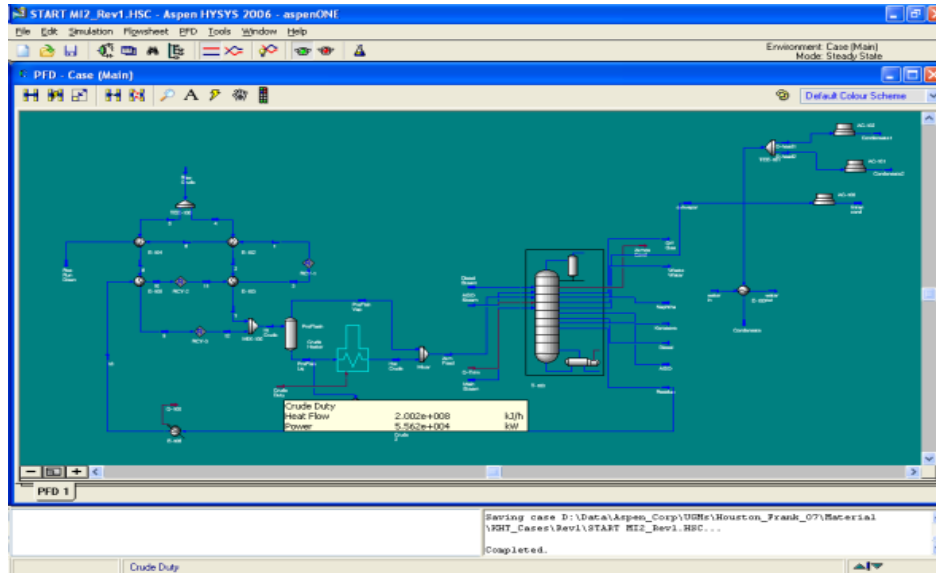
tujuan percobaan *miniplant* untuk mempelajari pengaruh kondisi proses pada kualitas produk, maka jumlah minimal produk yang diproses pada *miniplant* sebaiknya memenuhi jumlah sampel yang digunakan untuk analisis fisik dan kimia untuk penentuan kualitas produk. Sedangkan ukuran maksimal dari *miniplant* ditentukan dari jumlah kebutuhan produk yang diproses untuk pengujian penerimaan pasar terhadap produk yang akan diproduksi.

Kapasitas *miniplant* yang dirancang untuk 1,5 ton/tahun merupakan jumlah minimal produk yang dapat diproduksi pada *miniplant* dan kapasitas 1,5 ton tersebut memenuhi jumlah sampel yang digunakan untuk analisis fisik dan kimia untuk penentuan kualitas produk sehingga dapat menciptakan formulasi propelan skala laboratorium yang sesuai dengan spesifikasi kebutuhan pengguna sebelum dilakukan *scale up*.

## 2.9 Teori Simulasi Sistem Proses Produksi

Simulasi proses artinya membuat suatu proses produksi suatu bahan ke dalam diagram alir proses (*Process Flow Diagram*) dan menghitung neraca massa dan neraca panas/energi pada masing-masing peralatan yang digunakan. Aspen HYSYS merupakan sebuah *engineering software* yang mampu melakukan simulasi rangkaian proses yang ada di dalam suatu pabrik yang menggunakan bahan kimia. Penggunaan HYSYS memiliki keuntungan utama yaitu dapat menghemat waktu melakukan perhitungan-perhitungan dalam mendesain proses yang rumit dan kompleks dibandingkan apabila dikerjakan dengan perhitungan manual. Perhitungan dalam HYSYS mencakup perhitungan neraca massa dan neraca energi/panas pada masing-masing peralatan yang digunakan. Aspen HYSYS juga mampu melakukan studi optimasi proses. Dengan kata lain, HYSYS mampu

melakukan studi pengoptimalan suatu proses yang ada pada sebuah pabrik kimia.



**Gambar 2.9** Contoh Tampilan HYSYS

HYSYS dapat digunakan untuk merancang beberapa peralatan pada pabrik yang baru atau akan didirikan (*sizing*) atau mengevaluasi kinerja suatu peralatan pada pabrik yang sudah ada (*rating*). Hysys memiliki kelebihan daripada program-program simulasi proses lainnya. Program ini bersifat interaktif karena langsung memberitahukan input apa yang kurang pada saat penggunaanya mendesain suatu proses dan juga langsung memberitahukan apabila ada kesalahan yang terjadi. Dengan demikian program ini dapat dikatakan *user friendly* atau mudah digunakan.

HYSYS menawarkan peningkatan persamaan keadaan *Peng-Robinson (PR)* dan *Soave-Redlich-Kwong (SRK)*. Selain itu, HYSYS menawarkan beberapa metode yang merupakan modifikasi dari *property package* tersebut, termasuk *PRSV*, *Zudkevitch Joffee (ZJ)* dan *Kabadi Danner (KD)*. *Lee Kesler Plocker (LKP)* adalah adaptasi dari persamaan *Lee Kesler* untuk campuran, yang persamaan itu sendiri diubah dari persamaan *BWR*. Dari persamaan tersebut

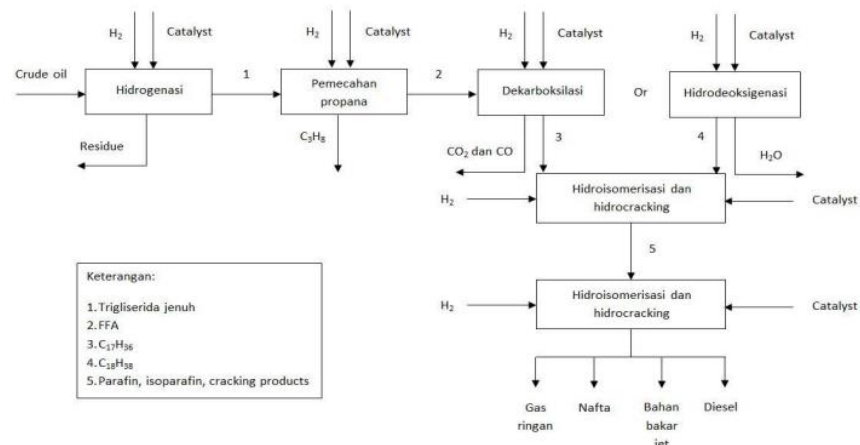
persamaan *Peng-Robinson* mendukung kondisi operasi yang lebih luas dan variasi yang lebih banyak dalam sebuah sistem.

Untuk industri kimia karena umumnya terjadi sistem yang sangat non-ideal, *PRSV EOS* dapat dipertimbangkan. Ini merupakan persamaan keadaan PR yang memperluas penerapan metode asli PR untuk sistem yang sangat non-ideal dengan kelebihan:

- Hal ini menunjukkan untuk mencocokkan kurva tekanan uap komponen murni dan campuran, terutama pada tekanan uap yang rendah.
- Berhasil untuk menangani sistem non-ideal memberikan hasil sebaik yang diperoleh dengan *activity models*.
- Jumlah terbatas dari parameter interaksi non-hidrokarbon tersedia.

## 2.10 Metode Perhitungan Kemampuan Kapasitas Proses Produksi

- **Block Flow Diagram (BFD)**



**Gambar 2.10** Contoh BFD Sistem Produksi

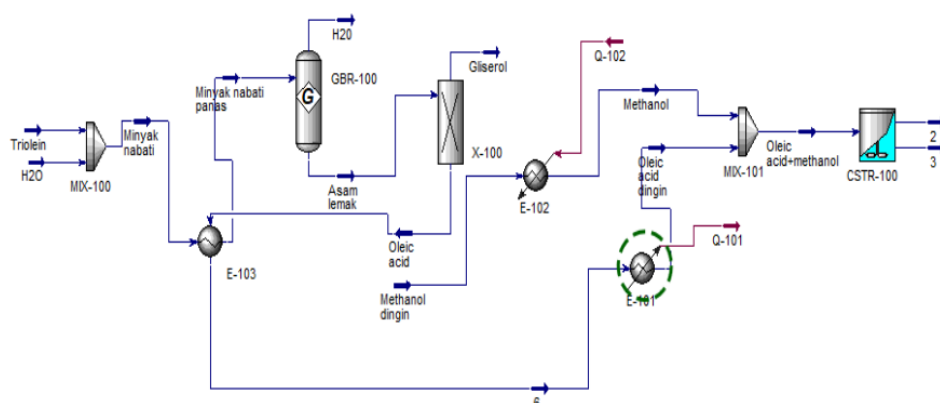
(Firda Dimawarnita dkk., 2021)

BFD dapat digunakan untuk memecah sistem yang rumit menjadi tahapan/sektor prinsip yang lebih logis. BFD menjelaskan aliran material umum di seluruh pabrik sehingga dapat membantu

mengarahkan pekerja untuk menuju produk dan zona operasi penting dari suatu fasilitas (Peters et al., 2003). BFD memberikan gambaran keseluruhan proses dengan setiap langkah operasi utama diwakili oleh satu blok. BFD juga dapat menunjukkan beberapa parameter operasi penting, seperti laju aliran dan suhu (Sutton, 2015). Pada penelitian ini BFD didasarkan pada beberapa studi literatur mengenai proses produksi biodiesel. BFD menjadi acuan untuk pemilihan proses.

- **Process Flow Diagram (PFD)**

PFD merupakan teknik utama untuk merinci informasi proses dan desain. PFD menunjukkan urutan aliran melalui sistem melalui berbagai peralatan (seperti perpipaan, instrumentasi, dan desain peralatan) dan merinci sambungan aliran, laju aliran aliran dan komposisi serta kondisi operasi. PFD lebih rinci dan menyampaikan lebih banyak informasi daripada BFD yang hanya memberikan gambaran umum tentang arus informasi. PFD akan mencakup juga penjelasan unit proses seperti bagian pencampuran, evaporasi, separasi yang akan dipertimbangkan dalam dalam model untuk mensimulasikan secara akurat.



**Gambar 2.11** Contoh Simulasi PFD Sistem Produksi  
(Firda Dimawarnita dkk., 2021)

Simulasi HYSYS Pada penelitian ini, dilakukan simulasi proses menggunakan Aspen Hysys. Simulasi yang dilakukan didasarkan

dari beberapa scenario PFD. Penelitian diawali dengan studi pustaka mengenai kondisi yang mempengaruhi proses produksi propelan. Data yang digunakan untuk melakukan simulasi diperoleh dari studi literatur terkait yang meliputi Flow Diagram (Diagram Alir), parameter pengoperasian umpan masuk, komposisi bahan baku, kondisi unit operasi dan utilitas.

Prosedur simulasi proses meliputi: penentuan komponen-komponen kimia yang digunakan, pemilihan model termodinamik yang sesuai, pemilihan satuan-satuan pengendalian yang sesuai untuk digunakan dalam proses serta penentuan masukan (kecepatan aliran, suhu, tekanan dan keadaan lainnya) (Aditya dan Putra, 2009). Informasi untuk sebagian besar komponen kimia telah tersedia dalam component library HYSYS. Satuan operasi utama dalam proses produksi propelan adalah reaktor satuan pemisahan dan pemurnian produk. Sehingga untuk desain reaktor perlu dipertimbangkan aspek-aspek yang akan mempengaruhi kinerja reaktor yang selanjutnya berpengaruh juga terhadap hasil produksi yang diperoleh. Pembuatan propelan juga dipengaruhi oleh suhu operasi dan waktu pencampuran atau kecepatan pencampuran, sehingga faktor-faktor tersebut dipertimbangkan dalam melakukan simulasi. Dalam melakukan simulasi proses produksi propelan menggunakan Aspen Hysys, simulasi dibuat dalam suatu process flow diagram (PFD), dimana PFD disimulasikan dengan menggunakan acuan dari suatu block flow diagram (BFD) yang didapat dari literatur.

Secara garis besar tahapan simulasi system produksi propelan meliputi:

Pemilihan Proses Produksi Propelan-> referensi metode pembuatan propelan->digambarkan ke dalam suatu BFD-> konsep produk propelan->tahapan proses dari BFD tersebut dibuat ke dalam suatu PFD ->disimulasikan dengan software HYSYS->rangkuman material

stream dan komposisi dari segi fraksi mol pada masing-masing umpan dan produk akhir.

### 2.11 Teori Kestimbangan

Konsep kestimbangan merupakan dasar dalam ilmu kimia. Dalam kenyataannya reaksi kimia yang bersifat reversibel, dalam sistim tertutup, pada keadaan akhir akan didapatkan kestimbangan antara reaktan dan produk. Selain itu gangguan dari luar juga akan mempengaruhi proses kestimbangan. Ada tiga cara yang biasa digunakan untuk mengganggu kestimbangan reaksi kimia: (1) mengubah temperatur, (2) mengubah konsentrasi reaktan atau produk, dan (3) mengubah volume.

Apabila temperatur sistim dinaikan (dengan menambahkan energi panas), maka reaksi kimia akan berlangsung dengan upaya untuk mendinginkan sistim (dengan menggunakan energi panas tersebut). Apabila reaktan atau produk ditambahkan pada reaksi pada kestimbangan, maka sistim akan mengadakan respons dengan cara menggunakan zat yang ditambahkan tersebut. Pada sistim yang salah satu atau lebih reaktan atau produknya berupa gas, maka dengan mengecilkan volume wadah akan menyebabkan peningkatan tekanan; sistim akan bereaksi dalam usaha untuk menurunkan tekanan tersebut. Fenomena di atas dikenal dengan prinsip Le Chatelier: "Jika terhadap suatu kestimbangan dilakukan gangguan, maka kestimbangan akan bergeser untuk menghilangkan pengaruh gangguan tersebut".

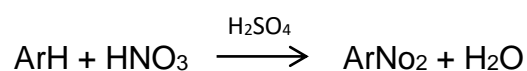
**Tabel 2.2** Pengaruh gangguan terhadap kestimbangan dan K

Gangguan	Perubahan agar campuran kembali ke kesetimbangan	Pengaruh terhadap kesetimbangan	Pengaruh terhadap K
Penambahan reaktan	Sebagian reaktan yang ditambahkan dikonsumsi	Bergeser ke kanan	Tak berubah
Penambahan produk	Sebagian produk yang ditambahkan dikonsumsi	Bergeser ke kiri	Tak berubah
Volume diperkecil, tekanan diperbesar	Tekanan diperkecil	Bergeser ke arah jumlah molekul gas yang lebih kecil	Tak berubah
Volume diperbesar, tekanan diperkecil	Tekanan diperbesar	Bergeser ke arah jumlah molekul gas yang lebih besar	Tak berubah
Temperatur dinaikan	Energi panas dikonsumsi	Bergeser ke arah reaksi endoterm	Berubah
Temperatur diturunkan	Energi panas dikeluarkan	Bergeser ke arah reaksi eksoterm	Berubah

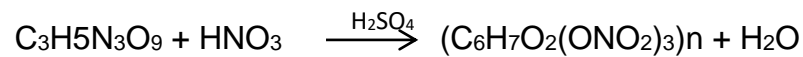
Proses pembuatan propelan dari nitroselulosa salah satunya menggunakan proses nitrasi. Proses nitrasi adalah masuknya gugus nitro ke dalam zat-zat organik atau kimia lainnya dengan menggunakan campuran asam nitrat dan asam sulfat atau yang biasa disebut dengan mixed acid. Guna asam sulfat dalam nitrasi ini adalah sebagai zat penarik air (pada reaksi nitrasi akan terbentuk air), sehingga reaksi berlangsung sampai berakhir. Nitrasi merupakan reaksi isotermis, yaitu reaksi yang menghasilkan zat-zat yang dapat meledak.

Reaksi nitrasi berlangsung dengan penggantian satu atau lebih gugus nitro (-NO<sub>2</sub>) menjadi molekul yang reaktif. Gugus nitro akan menyerang karbon membentuk nitroaromatik atau nitroparafin. Pada proses nitrasi, masuknya gugus -NO<sub>2</sub> ke dalam senyawa dapat terjadi dengan menggantikan kedudukan beberapa atom atau gugus yang ada dalam senyawa. Umumnya nitrasi gugus -NO<sub>2</sub> menggantikan atom H.

Reaksi nitrasi senyawa-senyawa aromatic dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut.



Nitrating Agent merupakan reaktan elektrofilik, reaksi akan terjadi pada atom karbon dari cincin aromatic yang mempunyai densitas electron terbesar. Reaksi nitration lebih sering dilakukan dengan menggunakan asam campuran yaitu asam nitrat dan asam sulfat. Asam sulfat tersebut berfungsi sebagai dehydrating agent (penyerap air yang terbentuk dalam reaksi), mencegah reaksi balik dari produk, dan sebagai media asam dimana terjadi disosiasi asam nitrat menjadi spesies yang reaktif yaitu  $\text{NO}_2^+$ .



Proses pembuatan propelan base dilakukan dalam reactor tangki berpengaduk dengan suhu antara 160-170 C dan tekanan 1 atm. Reaksi berlangsung secara eksotermis sehingga membutuhkan pendingin. Bahan baku selulosa nitrat tidak larut dalam air, larut dalam keton, ester, alkohol dan solven lainnya. Selulosa nitrat merupakan zat yang tidak stabil dan mudah terbakar apabila suhunya mencapai di atas 170°C karena terjadi perubahan komposisi akibat panas yang tiba-tiba. Selulosa dengan kadar  $\alpha$ -selulosa diatas 92% memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan baku utama pembuatan propelan dan/atau bahan peledak, yaitu apabila kadar nitrogen yang diperoleh >12,5%.

Sehingga untuk mendapatkan kadar  $\alpha$ -selulosa yang tinggi, maka hemiselulosa dan lignin harus dihilangkan terlebih dahulu. Penghilangan hemiselulosa bisa dengan cara pre-hidrolisis menggunakan aquadest pada suhu mendidih, sedangkan penghilangan lignin dapat dilakukan dengan menambahkan alkali/basa agar menjadi senyawa lain yang mudah larut. Memaksimalkan penghilangan lignin tersebut bisa juga dilakukan melalui proses pemurnian dengan hidrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ).

## 2.11 Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti	Judul	Metode	Hasil Penelitian
1	Marthin Saputri (2013)	<i>Prarancangan Pabrik Nitrogliserin dari Gliserol dan Asam Nitrat dengan Proses Biazzzi Kapasitas 23.500 Ton/Tahun</i>	Simulasi menggunakan HYSYS	Proses pembuatan nitrogliserin dilakukan di dalam Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB). Reaksi berlangsung pada fase cair, suhu 15°C dan tekan 1 atm. Reaksi berlangsung secara eksotermis, irreversible, dan non adiabatik.
2	Fernanda Diniz Botelho, Erick Braga Ferrao Galante, Alvaro Jose Boareto Mendes (2015)	<i>Characteristics and Manufacture of Spherical Smokeless Powders</i>	Studi pustaka	Keuntungan besar dari proses pembuatan <i>spherical powders</i> adalah kemungkinan menggunakan nitroselulosa yang rusak dan tidak stabil. Bubuk tua yang akan dihancurkan dapat digunakan kembali, yang menghasilkan biaya produksi yang lebih rendah. Selain itu, proses stabilisasi nitroselulosa yang membutuhkan air dan energi dalam jumlah besar tidak diperlukan karena proses pembuatan propelan berbentuk bola sudah menstabilkan nitroselulosa. Oleh karena itu proses untuk membuat <i>spherical</i>

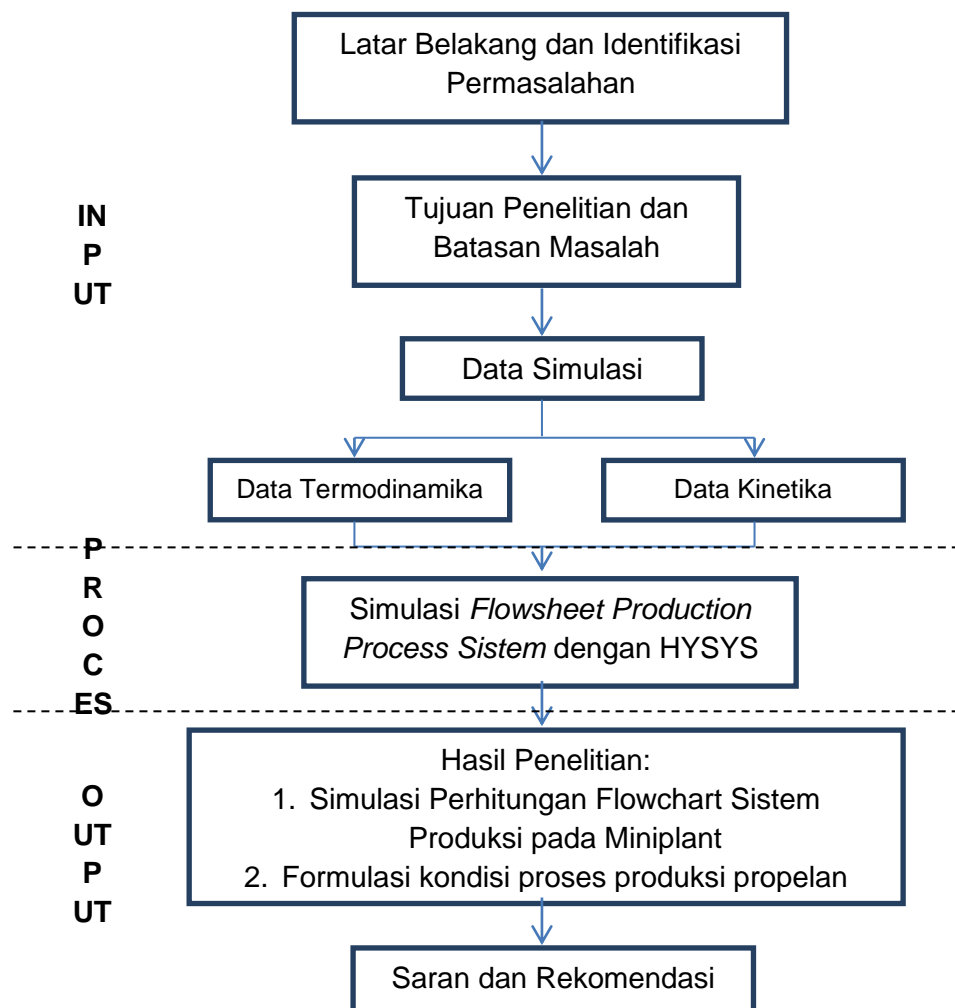
				<i>powders</i> menggantikan proses stabilisasi. Salah satu kelemahannya adalah fakta bahwa pabrik produksi <i>spherical powders</i> tidak dapat digunakan untuk memproduksi jenis bubuk lainnya, karena kekhususan peralatan dan kurangnya mesin untuk mengeluarkan propelan.
3	Weitao Yang, Rui Hu, Lin Zheng, Guanghu Yan, Wenrong Yan (2020)	<i>Fabrication and investigation of 3D-printed gun propellants</i>	Kuantitatif eksperimen	Sebuah resin energetik yang dapat difotokopi untuk pembuatan aditif fotopolimerisasi dikembangkan, terdiri dari 50 wt% RDX, 25 wt% akrilat dan 25 wt% Bu-NENA. Kemampuan untuk mencetak geometri kompleks menggunakan printer SLA telah dibuktikan. Kekuatan mekanik yang diharapkan, kinerja pembakaran tercapai. Penembakan pertama propelan cetak 3D lebih memperhatikan aspek keselamatan, menghasilkan kecepatan moncong yang rendah tetapi diharapkan.
4	Mateusz Szala (2020)	<i>Development trends in artillery ammunition</i>	Studi pustaka	Kemungkinan menghilangkan NC dalam <i>double base</i> sangat spekulatif, namun jumlah NC yang

		<i>propellants</i>		digunakan dapat dikurangi dengan menggantinya dengan <i>nitramine</i> yang energik. Namun, propelan yang diperoleh dengan menggunakan <i>nitramine</i> diklasifikasikan sebagai propelan <i>double base</i> yang dimodifikasi dengan komposit (CMDBs). Ini juga berlaku untuk propelan <i>triplebase</i> , dengan tren saat ini adalah penggantian NQ dengan RDX dan HMX.
5	D. Xu, B.H. Han, Z.G. Cheng, W.H. He (2016)	<i>Research Status and Development Trend of Automatic Quantitative Technology of Small-Kaliber Gun Propellant</i>	Studi pustaka	Untuk meningkatkan teknologi kuantitatif otomatis yang ada, selain menemukan metode kuantitatif yang sesuai, juga dapat meningkatkan proses kuantitatif dan meningkatkan metode kontrol untuk meningkatkan akurasi dan kecepatan kuantitatif. Ma Xing menggunakan propelan granular, mengedepankan metode penimbangan dinamis baru (Ma Xing, 2012). Metode ini mengacu pada material yang mendapatkan bobot yang akurat, diisi dan ditimbang pada saat yang bersamaan. Metode penimbangan dinamis dapat

				meningkatkan efisiensi dan mengurangi intensitas tenaga kerja. Kunci untuk mencapai penimbangan dinamis yang cepat dan akurat adalah cara mendapatkan sinyal respons dinamis dalam proses pengukuran melalui pemrosesan perangkat lunak dan perangkat keras.
6	Eddy Kustriyanto, Ishardita Pambuditama, Yudy Surya Irawan (2016)	<i>Perbaikan Layout Mesin Produksi Longsong Munisi Menggunakan Metode Systematic Layout Planning Dan Blocplan (Studi Kasus: Divisi Munisi - Pt. Pindad (Persero))</i>	Simulasi dengan pendekatan kuantitatif dan kualitatif (mixed method)	Perbaikan layout mesin produksi langsung munisi dengan menggunakan metode systematic layout planning dan blocplan menghasilkan penurunan ongkos material handling maksimal sebesar Rp. 4.015,5X dari ongkos material handling sebelum relayouting sebesar Rp. 29.754X menjadi Rp. 25.738,5X setelah dilakukan relayouting.

## 2.12 Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir pada penelitian ini dibagi menjadi tiga tahapan yaitu *input*, proses, dan *output*. Input sendiri berisi data-data yang digunakan dalam penelitian diantaranya ada latar belakang dan identifikasi, tujuan penelitian dan batasan masalah, studi literature untuk mendapatkan data terkait simulasi. Proses sendiri merupakan pengolahan data-data yang didapat dari tahap input yang kemudian dilakukan Simulasi *Flowsheet Production Process Sistem* menggunakan software simulasi HYSYS. *Output* merupakan hasil akhir dari penelitian yang terdiri dari desain sistem proses produksi dan formulasi kondisi proses produksi, saran dan rekomendasi.



**Gambar 2.12** Diagram Alir Kerangka Berpikir Penelitian.