

TUGAS AKHIR

PENGARUH VARIASI JUMLAH ALUMINA DAN ANTIMONI TERHADAP PROSES VULKANISASI, SIFAT MEKANIK DAN KETAHANAN API PADA *BELT CONVEYOR*



Disusun Oleh:

YOVANKA AGNESTIA

NIM. 2203030

**KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI
BADAN PENGEMBANGAN SUMBERDAYA MANUSIA
INDUSTRI**

POLITEKNIK ATK YOGYAKARTA

2025

TUGAS AKHIR

PENGARUH VARIASI JUMLAH ALUMINA DAN ANTIMONI TERHADAP PROSES VULKANISASI, SIFAT MEKANIK DAN KETAHANAN API PADA *BELT CONVEYOR*



Disusun Oleh:

YOVANKA AGNESTIA

NIM. 2203030

**KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI
BADAN PENGEMBANGAN SUMBERDAYA MANUSIA
INDUSTRI**

POLITEKNIK ATK YOGYAKARTA

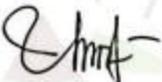
2025

PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI JUMLAH ALUMINA DAN ANTIMONI TERHADAP
PROSES VULKANISASI, SIFAT MEKANIK DAN KETAHANAN API PADA
*BELT CONVEYOR***

Disusun Oleh:
YOVANKA AGNESTIA
NIM. 2203030

Program Studi Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik
Pembimbing:

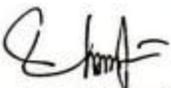

Uma Fadzilia Arifin, M.T.
NIP. 199312162019012002

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir dan dinyatakan memenuhi salah satu syarat yang diperlukan untuk mendapatkan Derajat Ahli Madya Diploma III (D3) Politeknik ATK Yogyakarta

Tanggal: 5 Agustus 2025
TIM PENGUJI

Ketua,


Sigit Susanto, S.T., M.T.
NIP. 197806042008031001
Anggota


Uma Fadzilia Arifin, M.T.
NIP. 199312162019012002


Yuli Suwarho, S.T., M.Sc
NIP. 198107042008031001

Yogyakarta, 5 Agustus 2025
Direktur Politeknik ATK Yogyakarta



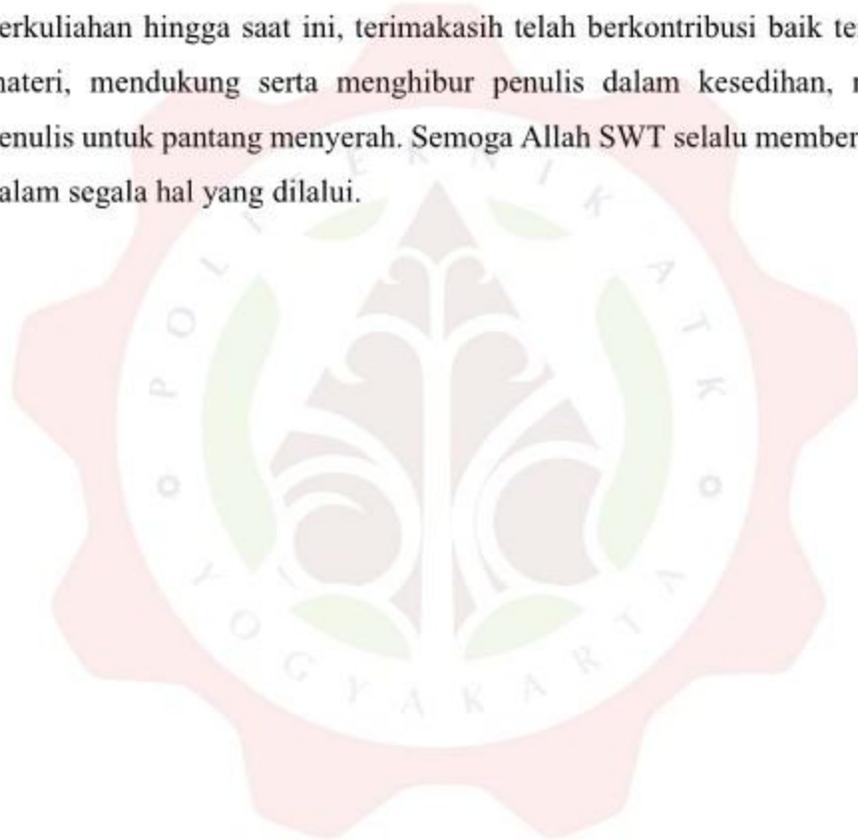
Sonny Taufan, S.H., M.H
NIP. 198402262010121002

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahrabbi'l'amin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah dan kemudahan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih kepada diri sendiri yang telah berusaha keras, pantang menyerah dan tetap istiqomah dalam menyelesaikan tugas akhir ini hingga selesai. Sebagai bentuk hormat, penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Yuli Setyoningsih, ibu penulis yang telah memberikan doa yang tulus dan dukungan. Terimakasih telah mengusahakan banyak cara agar penulis memperoleh pendidikan hingga sejauh ini. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan kesehatan, rezeki dan umur yang panjang kepada beliau sehingga dapat menemani penulis dan menyaksikan perjalanan hidup sampai masa yang akan datang.
2. Keluarga besar Bapak Kusno yang telah memberikan motivasi, semangat dan memberikan segala hal kepada penulis. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan kesehatan, rezeki dan umur yang panjang sehingga dapat menemani selalu perjalanan hidup sampai yang akan datang.
3. Ibu Uma Fadzilia Arifin, M.T selaku dosen pembimbing tugas akhir. Terimakasih telah meluangkan waktu untuk memberikan ilmu, pemikiran, saran, serta arahan dan bimbingan yang sangat berharga dalam membantu menyusun tugas akhir penulis. Semoga Allah SWT senantiasa melipat gandakan kebaikan dan ilmu yang Ibu berikan sehingga terselesaikannya tugas akhir ini.
4. Keluarga Bapak Burhanudin, terimakasih telah memberikan kehangatan, penerimaan dan kebersamaan selama di Yogyakarta. Semoga kebaikan keluarga beliau mendapatkan balasan yang berlipat ganda dari Allah SWT.
5. Seluruh Dosen dan keluarga besar Politeknik ATK Yogyakarta yang telah memberikan pengetahuan, pengalaman serta pelayanan yang baik.

6. Pihak PT. Karet Ngagel Surabaya Wira Jatim yang telah memberikan kesempatan magang dan memberikan ilmu, serta pengalaman yang luar biasa.
7. Sahabat penulis Luthfi Aulia Indahwati terimakasih banyak atas waktu, semangat, dan dukungan sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini dan teman-teman TPKP B yang telah menjadi teman selama perkuliahan penulis.
8. Pihak lain yang tidak bisa disebutkan, terima kasih telah menemani penulis selama perkuliahan hingga saat ini, terimakasih telah berkontribusi baik tenaga, waktu, materi, mendukung serta menghibur penulis dalam kesedihan, menyakinkan penulis untuk pantang menyerah. Semoga Allah SWT selalu memberi keberkahan dalam segala hal yang dilalui.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “PENGARUH VARIASI JUMLAH ALUMINA DAN ANTIMONI TERHADAP PROSES VULKANISASI, SIFAT MEKANIK DAN KETAHANAN API PADA *BELT CONVEYOR*” dengan baik. Tugas akhir disusun untuk memenuhi pernyataan kelulusan dan perolehan gelar Ahli Madya Diploma III (D3) program studi Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik (TPKP), Politeknik ATK Yogyakarta.

Tugas akhir ini tidak dapat diselesaikan dengan sebaik-baiknya tanpa bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, dalam kesempatan ini disampaikan terimakasih kepada:

1. Dr. Sonny Taufan, S.H., M.H. selaku Direktur Politeknik ATK Yogyakarta.
2. Yuli Suwarno, S.T., M.Sc. selaku Pembantu Direktur I Politeknik ATK Yogyakarta, Nurwantoro, S.Kom., M.M. selaku Pembantu direktur II Politeknik ATK Yogyakarta, Risang Pujiyanto, S.H., M.P.A. selaku Pembantu direktur III Politeknik ATK Yogyakarta.
3. Bapak Wisnu Pambudi, M.Sc. selaku Ketua Program Studi Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik.
4. Ibu Uma Fadzilia Arifin, M.T, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.

Demikian, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terimakasih. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan menambah wawasan bagi setiap pembaca.

Yogyakarta, 5 Agustus 2025

Penulis

MOTTO

“Kalau jalanmu terasa sulit, itu berarti kamu sedang menuju sesuatu yang besar.”
(Monkey D Luffy)

“Menjelajah yang tak terjelajahi, menemukan yang tak terduga, dan membuktikan yang terbukti.”



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
PERSEMBAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR	v
MOTTO.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
INTISARI.....	xiii
<i>ABSTRACT</i>	xiv
BAB I_PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	4
C. Tujuan Penyelesaian Tugas Akhir	4
D. Manfaat Penyelesaian Tugas Akhir	5
BAB II_TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. <i>Belt Conveyor</i>	7
B. <i>Rubber Conveyor Belt</i>	8
C. Pembuatan <i>Belt Conveyor</i>	12
D. Kompon Karet.....	14
E. Jenis Karet.....	15
F. Bahan Aditif Kompon Karet	18
G. Material Tahan Api	21
H. Karakteristik <i>Belt Conveyor</i>	24
I. Sifat Mekanik <i>Belt Conveyor</i>	25

J. Sifat Ketahanan Api	29
BAB III_METODE TUGAS AKHIR.....	30
A. Metode Pelaksanaan Tugas Akhir.....	30
B. Lokasi dan Waktu Pengambilan Data	31
C. Materi Pelaksanaan Tugas Akhir	32
BAB IV_HASIL DAN PEMBAHASAN	56
A. Pengaruh Variasi Phr Alumina dan Antimoni terhadap Kemampuan Proses Kompon <i>Belt Conveyor</i>	57
B. Pengaruh Penambahan Variasi Phr Alumina dan Antimoni terhadap Sifat Mekanik Vulkanisat Karet <i>Belt Conveyor</i>	61
C. Pengaruh Penambahan Variasi Phr Alumina dan Antimoni terhadap Sifat Tahan Api Vulkanisat Karet <i>Belt Conveyor</i>	70
D. Variasi Phr Alumina dan Antimoni yang Optimal untuk Menghasilkan Produk Karet <i>Belt Conveyor</i> Terbaik.....	72
BAB V_KESIMPULAN DAN SARAN.....	77
A. Kesimpulan	77
B. Saran.....	78
DAFTAR PUSTAKA	80
LAMPIRAN.....	83

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Alat dan mesin pelaksanaan tugas akhir.....	32
Tabel 3.2 Bahan pelaksanaan tugas akhir.....	37
Tabel 3.3. Formulasi variasi phr penggunaan alumina dan antimoni.....	40
Tabel 4.1 Data hasil uji rheologi kompon variasi phr alumina dan antimoni terhadap kemampuan proses kompon <i>belt conveyor</i>	58
Tabel 4.2 Pengaruh penambahan variasi phr antimoni dan alumina terhadap sifat mekanik vulkanisat <i>belt conveyor</i>	62
Tabel 4.3 Standar perusahaan untuk produk <i>belt conveyor</i>	73
Tabel 4.4 Hasil uji keseluruhan pada karet <i>belt conveyor</i>	73



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Belt conveyor</i>	8
Gambar 2.2 Bentuk umum <i>belt conveyor</i>	9
Gambar 2.3 <i>Textile fabric belt</i>	10
Gambar 2.4 Struktur <i>belt</i> berpenguat kain satu lapis dengan lapisan perekat.....	11
Gambar 2.5 Struktur <i>belt</i> berpenguat kain satu lapis dengan lapisan perekat dan lapisan peredam.....	11
Gambar 2.6 Struktur <i>belt</i> berpenguat kain dua lapis dan tiga lapis dengan lapisan perekat.....	11
Gambar 2.7 Struktur <i>steel cord belt</i>	12
Gambar 2.8 Struktur kimia Al_2O_3	23
Gambar 2.9 Struktur kimia Sb_2O_3	24
Gambar 3.1 Skema kerja pembuatan dan pengujian <i>belt conveyor</i> dengan memvariasikan dosis alumina dan antimoni.....	41
Gambar 3.2 Sampel uji kekerasan.....	46
Gambar 3.3 Sampel bentuk dumbbell dan bulan sabit (metode c).....	46
Gambar 3.4 Sampel uji abrasi.....	47
Gambar 3.5 Proses pembuatan <i>belt conveyor</i>	50
Gambar 3.6 Diagram alir proses penyelesaian tugas akhir.....	52
Gambar 4.1 Hasil uji rheologi kompon variasi phr alumina dan antimoni terhadap waktu optimum (T_{c90}).....	59
Gambar 4.2 Hasil uji pengaruh alumina dan antimoni terhadap nilai kekerasan (shore A).....	63
Gambar 4.3 Hasil uji pengaruh alumina dan antimoni terhadap uji kuat tarik (Mpa).....	64
Gambar 4.4. Hasil uji pengaruh alumina dan antimoni terhadap kuat sobek (N/mm).....	67

Gambar 4.5. Hasil uji pengaruh alumina dan antimoni terhadap hasil uji ketahanan abrasi (mm^3).....69
Gambar 4.6 Hasil uji pengaruh alumina dan antimoni terhadap hasil uji bakar pada *belt conveyor*.....70



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil uji rheometer phr 5AL:10AM.....	83
Lampiran 2. Hasil uji rheometer phr 10AL:10AM.....	84
Lampiran 3. Hasil uji rheometer phr 15AL:10AM.....	85
Lampiran 4. Hasil uji rheometer phr 20AL:10AM.....	86
Lampiran 5. Hasil uji rheometer phr 25AL:10AM.....	87
Lampiran 6. Hasil uji kuat tarik phr 5AL:10AM.....	88
Lampiran 7. Hasil uji kuat tarik phr 10AL:10AM.....	89
Lampiran 8. Hasil uji kuat tarik phr 15AL:10AM.....	90
Lampiran 9. Hasil uji kuat tarik phr 20AL:10AM.....	91
Lampiran 10. Hasil uji kuat tarik phr 25AL:10AM.....	92
Lampiran 11. Hasil uji kuat sobek phr 5AL:10AM.....	93
Lampiran 12. Hasil uji kuat sobek phr 10AL:10AM.....	94
Lampiran 13. Hasil uji kuat sobek phr 15AL:10AM.....	95
Lampiran 14. Hasil uji kuat sobek phr 20AL:10AM.....	96
Lampiran 15. Hasil uji kuat sobek phr 25AL:10AM.....	97
Lampiran 16. Lembar kerja harian magang Bulan November.....	98
Lampiran 17. Lembar kerja harian magang Bulan Desember.....	99
Lampiran 18. Lembar kerja harian magang Bulan Januari.....	100
Lampiran 19. Surat keterangan magang.....	101
Lampiran 20. Lembar penilaian magang.....	102
Lampiran 21. Lembar bimbingan konsultasi tugas akhir.....	103

INTISARI

Flame retardant seperti alumina dan antimoni memiliki peran penting dalam meningkatkan ketahanan api produk *belt conveyor* berbasis karet. Permasalahan yang ada di PT Karet Ngagel Surabaya Wira Jatim adalah ketahanan api pada *belt conveyor* belum memenuhi standar ketahanan terhadap lama matinya api yang diminta oleh konsumen. Percobaan ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi *parts per hundred rubber* (phr) dari alumina dan antimoni terhadap kemampuan proses vulkanisasi, sifat mekanik, ketahanan api vulkanisat karet dan variasi yang optimal untuk menghasilkan ketahanan api yang terbaik. Metode ini menggunakan lima variasi alumina yaitu 5 phr; 10 phr; 15 phr; 20 phr; 25 phr dengan antimoni tetap yaitu 10 phr. Berdasarkan hasil percobaan dan pengujian menunjukkan peningkatan kadar alumina cenderung meningkatkan kekerasan, menaikkan nilai kuat sobek, menurunkan ketahanan abrasi dan mempercepat api padam. Formulasi optimal diperoleh pada 20 phr alumina dan 10 phr antimoni. Penentuan variasi phr terbaik didasarkan pada ketahanan api 6 detik, kekerasan 75 shore A, kuat tarik 11.26 Mpa, kuat sobek 28.843 N/mm, dan abrasi 174.354.

Kata kunci: *flame retardant*, alumina, antimoni, karet vulkanisat, *belt conveyor*, ketahanan api, sifat mekanik, phr, proses vulkanisasi

ABSTRACT

Flame retardants such as alumina and antimony play a vital role in enhancing the fire resistance of rubber based belt conveyor products. The main issue at PT Karet Ngagel Surabaya Wira Jatim is that the belt conveyors fire resistance has not yet met the required self extinguishing time standard demanded by customers. This experiment aims to evaluate the effect of varying parts per hundred rubber (phr) of alumina and antimony on the vulcanization process, mechanical properties, and fire resistance of rubber vulcanizates, as well as to determine the optimal phr formulation for achieving the best fire performance. The study used five alumina variations (5, 10, 15, 20, and 25 phr) with a fixed 10 phr of antimony. The results showed that increasing alumina content tends to improve hardness, increase tear strength, reduce abrasion resistance, and accelerate flame extinction time. The optimal formulation was achieved at 20 phr alumina and 10 phr antimony, with performance results including a 6 second flame self extinguishing time, hardness of 75 shore A, tensile strength of 11.26 Mpa, tear strength of 28.843 N/mm, and abrasion value of 174.354 mm³.

Keywords: flame retardant, alumina, antimony, rubber vulcanizate, belt conveyor, fire resistance, mechanical properties, phr, vulcanization process

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Karet adalah material yang tidak terpisahkan dari kehidupan manusia, sebagai bahan yang sangat mudah diperoleh, praktis, ringan, dan tentunya modern. Hampir di semua sektor atau aspek kehidupan, menemukan produk-produk yang terbuat dari bahan karet (Nawiyanto *et al.*, 2014). Penggunaan karet sebagai produk jadi telah meluas dalam kehidupan sehari-hari, mencakup sektor medis, listrik, rumah tangga, otomotif, dan berbagai peralatan lain yang memanfaatkan bahan baku karet (Apriyantono, 2008). Perkembangan teknologi pengolahan karet telah menciptakan produk-produk dengan spesifikasi yang tinggi, salah satunya yaitu *belt conveyor*. Hal ini *belt conveyor* memainkan peran penting yang tak tergantikan dalam sistem transportasi material di berbagai industri.

Belt conveyor adalah produk karet penting dalam industri manufaktur, pertambangan, dan logistik. *Belt conveyor* merupakan sistem untuk memindahkan material dengan sabuk yang terus bergerak. Sistem ini terdiri dari sabuk, *pulley*, motor penggerak, dan rangka penopang. Banyak digunakan di industri pertambangan, manufaktur, logistik, pertanian, serta makanan dan farmasi karena efisien dan otomatis dalam mengangkut barang (Groover, 2013; Zhang *et al.*, 2022). Fungsi utama dari *belt conveyor* adalah memindahkan material dengan cepat dan efisien. *Belt conveyor* juga meningkatkan produktivitas dan efisiensi

operasional, mengurangi kebutuhan tenaga kerja manual dan mempercepat alur produksi. Sistem ini meningkatkan keselamatan kerja dengan mengurangi risiko kecelakaan dari pengangkutan material berat (Zhang *et al.*, 2022; Fenner, 2020). *Belt conveyor* sangat penting untuk operasi yang terus menerus dan terintegrasi dengan mesin lain di bidang industri otomatis (Groover, 2013). Sistem ini bekerja dengan sabuk yang digerakkan oleh motor untuk mengangkut barang secara horizontal atau miring.

Penggunaan formulasi karet yang tepat pada *belt conveyor* meningkatkan efisiensi dan masa pakai alat dalam sistem transportasi industri (Dierkes *et al.*, 2012). Karet alam yang divulkanisasi memiliki kekuatan tarik dan fleksibilitas tinggi, sangat cocok untuk sabuk *conveyor* industri berat (Ogwuegbu & Okafor, 2015). Bahan pembuatan *belt conveyor* bervariasi sesuai kebutuhan dan jenis industri. Industri berat seperti pertambangan dan semen, *belt conveyor* umumnya terbuat dari karet alam atau sintetis yang telah divulkanisasi untuk ketahanan terhadap abrasi dan beban berat (Dierkes *et al.*, 2012). Industri makanan dan farmasi, sabuk *conveyor* sering menggunakan PVC atau PU karena ketahanan terhadap bahan kimia ringan, mudah dibersihkan, dan aman untuk makanan (Zhou *et al.*, 2021). *Belt* juga diperkuat dengan lapisan kain tekstil untuk kekuatan tambahan (ISO 14890:2013), dan untuk aplikasi berat digunakan sabuk berbahan dasar *steel cord* yang tahan terhadap beban besar (Fenner, 2020).

Belt conveyor dalam sistem konveyor memiliki beberapa sifat penting yang menentukan performa, keamanan, dan masa pakainya seperti kekerasan,

kekuatan tarik, kekuatan sobek, abrasi dan ketahanan api. Kekerasan permukaannya memastikan ketahanan terhadap aus dari material abrasif, sedangkan kuat tarik menjamin kemampuan *belt* membawa beban berat tanpa putus. Kekuatan sobek memiliki peranan penting agar *belt* tahan terhadap kerusakan yang menyebar akibat benda tajam, serta abrasi yang menunjukkan daya tahannya terhadap keausan karena gesekan berulang. Ketahanan terhadap api menjadi aspek keselamatan vital, terutama di lingkungan berisiko tinggi. Gabungan karakteristik seperti kuat tarik dan tingkat kekerasan yang tinggi terbukti mampu meningkatkan umur pakai *belt conveyor* secara signifikan (Sadequl *et al.*, 2018).

Salah satu perusahaan di Indonesia yang memproduksi *belt conveyor* yaitu PT. Karet Ngagel Surabaya Wira Jatim. Perusahaan ini memproduksi *rubber article* seperti *rubber fender*, *rubber lining*, *train part*, *rubber* industri dan *belt conveyor* dengan jenis *belt conveyor type fabric* serta *belt conveyor type steel cord*. Produksi yang paling utama yaitu *belt conveyor*. Divisi R&D terus melakukan pengembangan produk sesuai dengan keinginan dan kebutuhan, agar dapat memuaskan pelanggan. Kendala yang dihadapi di perusahaan ini yaitu pada produk *belt conveyor* belum memenuhi standar ketahanan terhadap lama matinya api yang diminta oleh konsumen. Material tahan api yang digunakan pada perusahaan ini menggunakan alumina dan antimoni. Material tersebut memberikan ketahanan terhadap api yang baik, namun masih diperlukan pengembangan lebih lanjut terkait variasi phr (*parts per hundred rubber*) yang digunakan.

Percobaan ini dirancang untuk mencari solusi optimal terhadap kendala yang ada, dengan menganalisis pengaruh variasi rasio per seratus karet (phr) bahan aditif alumina dan antimoni terhadap sifat mekanik dan ketahanan api produk *belt conveyor*. Hasil percobaan ini diharapkan akan menjadi informasi yang dapat membantu perusahaan dalam meningkatkan kualitas dan kinerja produk. Informasi ini penting untuk pengembangan formulasi yang lebih efisien dan efektif ke depannya.

B. Rumusan Masalah

Mengacu pada latar belakang, maka rumusan masalah dalam tugas akhir ini sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh variasi phr alumina dan antimoni terhadap kemampuan proses kompon terhadap proses vulkanisasi pada kompon karet *belt conveyor*?
2. Bagaimana pengaruh variasi phr alumina dan antimoni terhadap sifat mekanik vulkanisat karet *belt conveyor*?
3. Bagaimana pengaruh variasi phr alumina dan antimoni terhadap sifat tahan api vulkanisat karet *belt conveyor*?
4. Berapa variasi phr alumina dan antimoni optimal yang menghasilkan produk tahan api yang terbaik?

C. Tujuan Penyelesaian Tugas Akhir

Tujuan pemecahan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh penambahan variasi phr alumina dan antimoni terhadap kemampuan proses kompon saat vulkanisasi karet *belt conveyor*.
2. Mengetahui pengaruh penambahan variasi phr alumina dan antimoni terhadap sifat mekanik vulkanisat karet *belt conveyor*.
3. Mengetahui pengaruh penambahan variasi phr alumina dan antimoni terhadap sifat tahan api vulkanisat karet *belt conveyor*.
4. Menentukan variasi phr alumina dan antimoni yang optimal untuk menghasilkan produk karet *belt conveyor* dengan sifat tahan api terbaik.

D. Manfaat Penyelesaian Tugas Akhir

Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Bagi akademis

Pengembangan ilmu pengetahuan mengenai interaksi bahan pengisi tahan api dengan matriks karet serta dampak pada sifat vulkanisasi, mekanik, tahan api dan referensi bagi yang lain yang ingin mendalami topik serupa yang berkaitan dengan optimasi formulasi karet tahan api.

2. Bagi perusahaan

Memberikan informasi tambahan terkait variasi phr bahan pengisi ketahanan api untuk meningkatkan kualitas produk, peningkatan daya saing dan pengurangan biaya produksi yang dapat membantu perusahaan menghindari bahan yang berlebihan sehingga berpotensi mengurangi biaya bahan baku tanpa mengurangi performa yang diinginkan.

3. Bagi pembaca

Memberikan pengetahuan komprehensif mengenai peran dan mekanisme kerja bahan pengisi tahan api sebagai penghambat api dalam kompon karet dan kesadaran keamanan akan standar dalam industri, yang mendorong penggunaan produk yang lebih aman dan mengurangi resiko kecelakaan terkait kebakaran.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. *Belt Conveyor*

Belt conveyor adalah alat transportasi material yang paling umum digunakan dalam sektor industri hal ini kemampuannya dapat membawa berbagai jenis material maupun produk dengan kapasitas ribuan ton per jam secara kontinu dan konstan dibanding dengan alat transportasi material lainnya, dan memiliki sifat fleksibel, biaya perawatan lebih murah, perawatan yang mudah, tenaga kerja serta energi yang dibutuhkan lebih sedikit, lebih aman dalam pengoperasiannya (Rao, 2021). *Belt conveyor* merupakan salah satu sistem material *handling* yang banyak digunakan di bidang industri dan pertambangan. Pembuatan *belt conveyor* sangat bervariasi dalam jenis dan modelnya, selalu disesuaikan dengan kebutuhan yang ada. *Belt conveyor* telah mengalami banyak perkembangan di mana pada awal tahun 90-an diciptakan pertama digunakan dalam pengangkutan material pertambangan dan hal ini menggabungkan dinamika *belt conveyor* pada desain sistem *conveyor* (Ananth *et al.*, 2013).

Belt conveyor yang akan digunakan pada industri harus sesuai kondisi ketika pengoperasian. Bahan utama pembuatan *belt conveyor* ada berbagai macam, hal ini memiliki fungsi pemakaian dan kelebihan masing-masing. Jenis material yang biasa digunakan yaitu logam, karet, plastik, kulit, kain maupun logam yang tergantung dari jenis dan sifat bahan yang diangkut (Deka & Borthakur, 2024).

Meskipun demikian, spesifikasi *belt conveyor* dan jenis material pembuatnya pada umumnya hanya dibahas pada tahap perancangan dan pemilihan jenis *belt conveyor*, dan jarang dijelaskan secara rinci pada tahap operasional maupun pemeliharaannya (Siregar & Wibowo, 2020). Contoh *belt conveyor* yang digunakan untuk memindahkan material secara kontinu dari satu ke titik lainnya disajikan pada gambar 2.1.

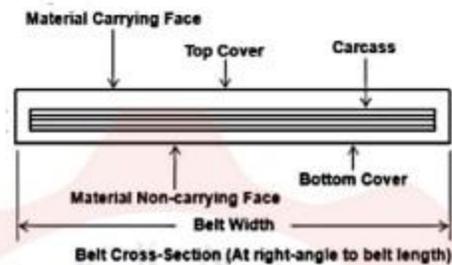


Gambar 2.1 *Belt conveyor*
(Nugroho, 2018)

B. *Rubber Conveyor Belt*

Belt conveyor berbahan dasar karet paling banyak digunakan karena mampu menahan beban yang cukup tinggi, fleksibel dan memiliki jenis komponen penyusunan yang berbeda. Pemilihan *belt conveyor* yang tepat menuntut perhatian pada sejumlah aspek penting, karena hal ini krusial bagi kinerja, keamanan, dan efisiensi jangka panjang sistem yang terdiri dari jenis material yang akan dipindahkan, jarak tempuh, kapasitas beban, ketahanan terhadap suhu dan bahan kimia (panas, minyak, asam, basa, ozon), dan perlindungan khusus (ketahanan mekanis, ketahanan terhadap bahan kimia, ketahanan terhadap lingkungan fisik

dan ketahanan terhadap bahaya khusus). Secara umum, *belt conveyor* terdiri dari tiga bagian yaitu, lapisan atas (*top cover*), *carcass* dan lapisan bawah (*bottom cover*). Contoh struktur umum dari *belt conveyor* ditunjukkan pada gambar 2.2.

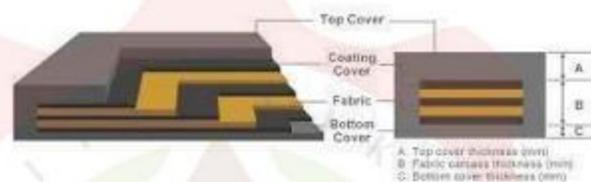


Gambar 2.2 Bentuk umum *belt conveyor*
(Pratama, 2021)

Lapisan atas adalah lapisan yang bersentuhan dengan bahan yang diangkut. Sedangkan lapisan bawah adalah lapisan yang tidak bersentuhan dengan bahan yang disebut dengan *pulley surface* (lapisan yang bersentuhan dengan rol penggerak atau *running side*) pada *conveyor*. *Carcass* atau lapisan luar bagian atas dan bawah harus memiliki ketahanan terhadap bahan kimia yang berfungsi melindungi bahan penguat sehingga dapat meningkatkan usia pakai *belt conveyor*. *Carcass* pada *belt* berfungsi untuk memberikan tegangan tarik (*tensile strength*) yang diperlukan untuk memindahkan *belt* yang memiliki muatan dan menahan dampak dari material yang dijatuhkan dari *feed chute* menuju *belt* (Pratama, 2021). *Belt conveyor* dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan tipe *carcass*, yaitu *textile fabric belt* dan *steel cord belt*.

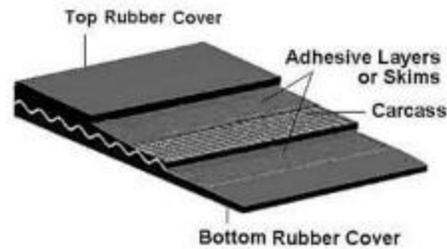
1. *Textile fabric belt*

Belt jenis ini memiliki *carcass* yang terdiri dari satu atau lebih lapisan kain khusus yang dirancang untuk menahan beban dan pada umumnya lapisan cover terbuat dari karet (*rubber*). Contoh struktur dari *textile fabric belt* ditunjukkan pada gambar 2.3.

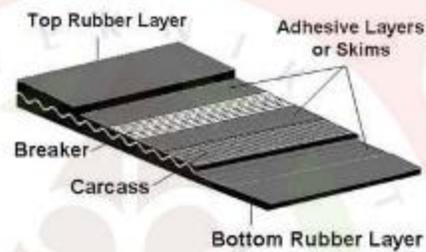


Gambar 2.3 *Textile fabric belt*
(Pratama, 2021)

Lapisan karet tipis (*skim*) atau lapisan perekat berfungsi untuk perekat, lapisan tersebut berada diantara lapisan atas dan lapisan bawah oleh karena itu kompon karet tersebar ke seluruh area lapisan kain penguat. Selain kemampuan untuk meningkatkan daya rekat antara kain penguat dengan kompon karet, lapisan perekat juga digunakan untuk meningkatkan resistansi terhadap dampak dan kekuatan untuk menampung beban. Lapisan peredam (*breaker*) adalah lapisan tambahan yang dibuat dengan menenun dan digunakan untuk meningkatkan daya rekat antara lapisan luar dengan beban penguat dan mencegah beban baru berdasarkan beban yang dihasilkan. Ilustrasi struktur jenis lapisan *belt* dapat dilihat pada gambar 2.4, 2.5, dan 2.6.



Gambar 2.4 Struktur *belt* berpenguat kain satu lapis dengan lapisan perekat (Shah, 2018)



Gambar 2.5 Struktur *belt* berpenguat kain satu lapis dengan lapisan perekat dan lapisan peredam (Shah, 2018)



Gambar 2.6 Struktur *belt* berpenguat kain dua lapis dan tiga lapis dengan lapisan perekat (Shah, 2018)

Jenis *carcass* yang sering digunakan antara lain:

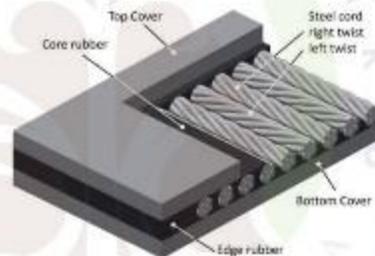
- a. *Nylon* atau *polyamide*
- b. *Polyester*
- c. *Cotton*

d. *Vynylon fabric*

e. *Aramid fibre*

2. *Steel cord belt*

Steel cord belt terbuat dari *sling* baja yang diletakkan paralel dalam satu lapisan dan dilapisi karet. *Belt* ini cenderung memiliki kuat tarik yang lebih baik dari pada *fabric belt*. *Steel cord belt* ini tersusun dari 3 bagian lapisan yaitu lapisan atas (*top cover*), kabel baja (*steel cord*) yang ditempatkan pada lapisan karet penghubung (*bounding rubber*) dan lapisan bawah (*bottom rubber*). Contoh struktur dari *steel cord belt* ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Struktur *steel cord belt*
(Frobose *et al.*, 2014)

C. Pembuatan *Belt Conveyor*

Proses pembuatan *belt conveyor* dengan dasar bahan karet tersusun dari beberapa langkah yaitu proses pengeringan kain penguat, proses pencelupan kain penguat, proses pemotongan dan penyatuan kompon karet dengan kain penguat, proses penyatuan, proses pemanasan awal, proses vulkanisasi dan pencetakan. Setiap tahapan tersebut dilakukan secara berurutan untuk memastikan kekuatan, fleksibilitas, dan daya rekat antara lapisan karet dan kain penguat tercapai secara

optimal. Kualitas proses pada setiap langkah sangat menentukan performa akhir *belt conveyor*, terutama dalam hal ketahanan terhadap beban, abrasi, dan suhu operasi.

Pengeringan kain penguat digunakan untuk mengeringkan kain penguat yang terbuat dari kapas. Proses pengeringan adalah proses penting untuk menghindari terjadinya gelembung udara selama proses vulkanisasi. Proses pengeringan penguatan hanya berlaku untuk *belt conveyor* yang menggunakan kain penguat dari kapas. Proses pengeringan dilakukan sampai kelembaban mencapai 1°C dengan memasukkan ke mesin drum pengeringan dengan pemanas uap dengan kecepatan 15 meter per menit pada 150°C. Proses pencelupan kain penguat sintetis adalah proses pelapisan kain penguat sintetis dengan perekat. Proses dilakukan tanpa proses pengeringan dan sebelum proses pelapisan kain penguat dengan lapisan perekat (*skim*).

Proses pemotongan dan penyatuan kompon karet dengan kain adalah untuk mengurangi lebar kompon karet dan kain penguat sesuai ukuran yang ditentukan antara lapisan karet dan lapisan kain penguat. Proses penyatuan adalah proses menggabungkan lapisan luar dan bawah lapisan perekat atas dengan mesin kalender. Proses pemanasan awal adalah proses pemanasan untuk meningkatkan *adhesi* antara kompon karet, bahan penguat dan lapisan perekat. Proses ini dimaksudkan untuk mempersingkat periode proses vulkanisasi. Vulkanisasi dan pencetakan *belt conveyor* terdiri dari dua jenis, proses pematangan dan penekanan

belt conveyor menggunakan mesin cetak tekan panas yang berukuran besar dengan suhu dan waktu yang telah ditentukan dan proses vulkanisasi berkelanjutan adalah proses vulkanisasi terus menerus dari mesin drum baja putar dan mesin pita baja tarik tinggi dengan kecepatan 40-65 meter per jam (Santoso *et al.*, 2015).

D. Kompon Karet

Susunan utama pembuatan *belt conveyor* berbahan dasar karet merupakan lapisan luarnya (atas maupun bawah). Lapisan luar *belt conveyor* terbuat dari karet yang berfungsi sebagai bahan utama dan ditambahkan dengan bahan aditif lainnya untuk memenuhi syarat yang ditetapkan berdasarkan kegunaannya. Bahan karet yang telah dicampur dengan bahan aditif dan belum tervulkanisasi dinamakan kompon karet. Sebelum dilakukan proses membuat kompon, hal yang dilakukan yaitu membuat formulasi. Terkait pembuatan formulasi ada beberapa yang perlu diperhatikan yaitu biaya, kemampuan proses, sifat fisis produk karet, dan keselamatan dan kesehatan kerja.

Biaya adalah aspek utama yang menentukan jenis material dan menghasilkan produk dengan kualitas baik sehingga mampu bersaing di pasar. Kemampuan proses adalah kemampuan bahan yang dibuat menjadi kompon mampu diproses dengan alat atau mesin yakni mesin *banbury*, mesin *two roll mill*, atau mesin lainnya. Sifat fisis produk karet adalah kompon yang dibuat harus memenuhi spesifikasi seperti kekerasan, kuat tarik, kuat sobek, ketahanan api, ketahanan abrasi, dan spesifikasi lainnya. Kemudian Keselamatan dan Kesehatan

Kerja (K3) adalah sarana untuk menciptakan tempat kerja yang aman, sehat, nyaman dan bebas dari polusi, sehingga melindungi dan bebas dari kecelakaan industri, yang pada akhirnya dan meningkatkan efisiensi dan produktivitas kerja (Irzal, 2016).

E. Jenis Karet

Karet alam dan karet sintetis merupakan dua jenis material utama yang digunakan dalam industri karet karena memiliki karakteristik yang saling melengkapi. *Standard Indonesian Rubber (SIR)* sebagai salah satu bentuk karet alam banyak digunakan karena memiliki elastisitas tinggi dan daya rekat yang baik (Nurjannah *et al.*, 2021). Meskipun demikian, SIR cenderung kurang tahan terhadap panas dan oksidasi, sehingga dalam banyak aplikasi dipadukan dengan karet sintetis seperti *Styrene Butadiene Rubber (SBR)* (Williams & Amoke, 2022). SBR memiliki keunggulan dalam hal ketahanan aus dan stabilitas termal, yang menjadikannya cocok untuk aplikasi berat seperti ban kendaraan (Song, 2021). Kombinasi SIR dan SBR mampu meningkatkan kekuatan tarik, ketahanan aus, dan umur pakai produk secara signifikan (Khan *et al.*, 2022). Pengembangan campuran SIR dan SBR terus dilakukan dalam industri karet untuk mengoptimalkan performa material (Mishra *et al.*, 2021).

1. *Standard Indonesian Rubber (SIR)*

Standard Indonesian Rubber (SIR) merupakan bentuk utama karet alam yang diproduksi di Indonesia, memainkan peran krusial dalam berbagai

industri. Sistem standarisasi SIR ini dirancang untuk menjamin kualitas yang konsisten, sesuai dengan parameter teknis seperti kadar kotoran, abu, volatilitas, dan plastisitas awal (Nugraha & Sujito, 2021). Hal ini sangat penting untuk memenuhi tuntutan pasar global yang bervariasi, khususnya dalam aplikasi manufaktur seperti ban dan komponen teknik.

SIR, seperti karet alam pada umumnya, unggul dalam elastisitas tinggi, kekuatan tarik, ketahanan sobek, dan sifat *low heat build up*, menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi yang membutuhkan performa mekanik prima dan ketahanan terhadap kelelahan (Hariyono & Saputro, 2022). Keterbatasan karet alam terletak pada kerentanannya terhadap faktor lingkungan seperti ozon, radiasi UV, dan panas ekstrem. Paparan elemen-elemen ini dapat menyebabkan degradasi dan retakan permukaan, yang pada akhirnya membatasi umur pakainya di lingkungan tertentu (Nurjannah *et al.*, 2020).

Modifikasi formulasi kompon kerap dilakukan sebagai upaya untuk mengatasi kelemahan karet alam dan meningkatkan kinerjanya. Contohnya, kombinasi antara SIR dan *Styrene Butadiene Rubber* (SBR) dapat menghasilkan material yang memiliki keseimbangan sifat fisik dan mekanik yang lebih baik. SBR dapat meningkatkan ketahanan ozon dan panas, melengkapi elastisitas alami SIR. Penambahan *filler* fungsional dan aditif kimia pada kompon SIR juga dilakukan untuk mengoptimalkan performa mekanik, termal, dan ketahanan spesifik, terutama pada aplikasi seperti *belt*

conveyor yang menuntut ketahanan terhadap api atau abrasi ekstrem (Rahman *et al.*, 2023).

2. *Styrene Butadiene Rubber* (SBR)

Karet sintetis awalnya dikembangkan sebagai alternatif bagi karet alam. Kemajuan teknologi saat ini memungkinkan optimalisasi keunggulan intrinsik dari kedua jenis karet sekaligus mengatasi berbagai keterbatasannya. Melalui pencampuran karet alam dan karet sintetis disertai penambahan bahan kimia yang spesifik produk karet dapat diformulasikan untuk memenuhi berbagai spesifikasi yang diinginkan. Kelebihan utama karet sintetis adalah kemampuannya untuk melengkapi sifat karet alam. Contohnya, karet alam dikenal memiliki elastisitas yang baik, namun kurang stabil terhadap pengaruh ozon dan panas yang dapat mempercepat degradasi material. Sebaliknya, karet sintetis menunjukkan ketahanan yang lebih unggul terhadap ozon, panas, serta memiliki ketahanan retak yang baik. Pencampuran antara kedua jenis karet ini, dengan proses kimia yang tepat, memungkinkan terciptanya material dengan performa yang optimal (Nurjannah *et al.*, 2020).

Styrene Butadiene Rubber (SBR) adalah salah satu jenis karet sintetis yang paling sering digunakan dalam industri. Karet ini dimanfaatkan sebagai campuran semi sintetis dengan karet alam, memungkinkan pengembangan beragam produk jadi. Keunggulan SBR terlihat jelas pada aplikasinya dalam pembuatan ban kendaraan, bantalan kaki mebel, hingga bantalan jembatan, menunjukkan fleksibilitas dan adaptasinya terhadap berbagai kebutuhan

(Bahri & Bondan, 2018). *Styrene Butadiene Rubber* (SBR) adalah karet sintetis dengan karakteristik mekanik yang kuat. Karet yang memiliki ketahanan kikis dan sobek yang tinggi, serta kuat tarik yang baik. SBR juga tahan terhadap pengusangan dan menghasilkan panas internal yang rendah saat digunakan. Selain itu, karet sintetis ini cukup tahan retak, serta tahan air dan cuaca. Meski demikian, SBR juga memiliki beberapa kekurangan, yaitu panas yang ditimbulkan tergolong rendah (yang bisa menjadi kelemahan dalam aplikasi tertentu) dan penyusutan yang tinggi (Susilawati, 2019).

F. Bahan Aditif Kompon Karet

Penyusunan pembuatan kompon karet dibutuhkan bahan tambahan seperti bahan pengisi penguat, pengisi penambah volume. Bahan pengisi ini berupa zat kimia yang berguna untuk meningkatkan kekerasan, peregangan, ketahanan kikis, kekuatan tarik dan kekuatan sobek, selain itu penambahan bahan pengisi untuk mengurangi biaya (Nasruddin, 2017). Bahan aditif lainnya seperti bahan pemvulkanisasi, bahan pelunak, bahan pencepat, bahan penggiat dan bahan antioksidan. Penambahan ini bertujuan untuk memperbaiki sifat fisis pada kompon karet (Prasetya, 2010). Berdasarkan (ASTM) D5899 pada tahun 2010 tentang standar klasifikasi bahan-bahan komponding karet, terdiri 18 jenis klasifikasi bahan aditif untuk penyusunan kompon karet antara lain:

1. Bahan pencepat (*accelerator*) berfungsi mempercepat proses vulkanisasi, mengurangi bahan vulkanisasi yang digunakan dan mengontrol mulainya vulkanisasi dan laju vulkanisasi.
2. Bahan pemicu daya rekat (*adhesion promoters*) berfungsi untuk memperbaiki daya rekat karet, biasa digunakan untuk melapisi kuningan dan kabel besi pada ban.
3. Bahan pengembang (*blowing agent*) berfungsi sebagai bahan kimia yang mendekomposisi suhu kematangan menjadi gas pada kompon menjadi busa.
4. Bahan anti statik (*anti static agent*) berfungsi untuk mengurangi muatan elektrostatis yang timbul pada karet.
5. Bahan anti degradan, bahan anti degradan ini meliputi antioksidan, antiozon, anti degradan berfungsi untuk memperlambat kerusakan pada karet dan memperpanjang daya tahan produk karet.
6. Bahan pewarna (*colorant*) berfungsi untuk memberikan warna pada kompon karet.
7. Bahan pengisi (*filler*) berfungsi meningkatkan sifat mekanis produk karet. *Filler* terdapat dua golongan yaitu *reinforcing filler* dan *non reinforcing filler*. *Reinforcing filler* berfungsi meningkatkan kekerasan, ketahanan sobek, ketahanan kikis, tegangan putus dari vulkanisat sedangkan *non reinforcing* berfungsi hanya menambah kekerasan dan kekakuan namun sifat-sifat lain akan berkurang.

8. Bahan ketahanan api (*flame retardant*) berfungsi untuk memadamkan api yang timbul di area produk.
9. Bahan anti jamur (*fungicides*) berfungsi untuk mencegah timbulnya jamur pada produk karet.
10. Bahan pembantu proses (*processing materials*) atau bahan pemlastis, berfungsi untuk memperbaiki sifat fisis kompon dan vulkanisat dan mempermudah proses pencampuran karena dapat mempercepat proses dispersi bahan dan penyebaran material, dan mengurangi suhu saat proses komponding serta memperbaiki sifat alir karet (Rodgers, 2016).
11. Bahan pengharum (*odorants*) berfungsi untuk memberikan aroma pada kompon karet biasanya untuk membedakan kompon karet tertentu.
12. Bahan pemicu dan penggiat (*promotor dan coupling agent*) berfungsi untuk membantu mempercepat proses pencampuran karet dengan bahan pengisi.
13. Karet yang merupakan bahan utama pembuatan kompon karet, berdasarkan pembuatannya karet terdiri dari dua jenis yakni karet alam dan karet sintetis.
14. Bahan perekat tambahan (*tackifiers*) berfungsi memberikan dan meningkatkan daya rekat antar karet.
15. Bahan penghambat (*retarder and inhibitor*) berfungsi untuk memperlambat atau memperlambat proses vulkanisasi.
16. Bahan penggiat (*activator*) berfungsi untuk meningkatkan kerja dari *accelerator*.

17. Bahan pemvulkanasi (*vulcanizing agent*) berfungsi untuk membentuk ikatan silang pada saat proses pematangan.
18. Elastomer termoplastik merupakan jenis plastik yang memiliki sifat yang hampir sama dengan karet dan dapat diproses pada suhu tinggi.

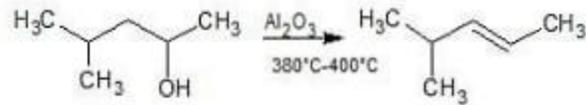
G. Material Tahan Api

Dunia industri sering kali menggunakan produk karet yang memiliki ketahanan terhadap panas dan api. Bahan aditif digolongkan menjadi bahan pengisi tahan api yaitu alumina, aluminium trihydrate (ATH), magnesium hidroksida, sodium bikarbonat, kalsium karbonat, *clay*, *talca*, silika dan *carbon black* (Dick, 2009). Bahan yang lain yaitu *dry powder*, antimony trioxide (Sb_2O_3), magnesium hidroksida dan amonium polifosfat (Zimstein *et al.*, 2019). Bahan PVC *resin* sering ditambahkan pada karet untuk meningkatkan sifat tahan api. Alumina (Al_2O_3) merupakan senyawa kimia dari aluminium dan oksigen. Alumina sering digunakan dalam industri sebagai adsorben, katalis dan penyangga katalis. Alumina memiliki sifat-sifat seperti keras, titik leleh tinggi, konduktivitas listrik rendah, dan tahan terhadap suhu tinggi (Ross, 2011). Pembuatan kompon, alumina digunakan sebagai bahan pengisi kompon karena dapat meningkatkan sifat fisis kompon seperti kekerasan dan ketahanan panas dan dapat menurunkan harga kompon (Panda *et al.*, 2006).

1. Aluminium hidroksida ($\text{Al}(\text{OH})_3$)

Aluminium hidroksida ($\text{Al}(\text{OH})_3$) atau ATH, merupakan salah satu penghambat api non halogen yang paling banyak digunakan secara global, terutama dalam polimer seperti karet. Populer karena sifatnya yang non toksik, ramah lingkungan, tidak menghasilkan asap korosif saat terbakar, dan relatif ekonomis. ($\text{Al}(\text{OH})_3$) juga berfungsi ganda sebagai *filler* dan penekan asap, ini menjadikannya aditif multifungsi yang krusial untuk aplikasi yang menuntut keamanan tinggi, seperti *belt conveyor* di area berisiko kebakaran.

Mekanisme kerja ($\text{Al}(\text{OH})_3$) sebagai penghambat api bersifat endotermik dan berlapis. Saat terpapar panas (sekitar $180\text{-}200^\circ\text{C}$), ($\text{Al}(\text{OH})_3$) terurai menjadi aluminium oksida (Al_2O_3) dan uap air. Pelepasan uap air ini menyerap panas, mendinginkan material dan memperlambat pirolisis. Uap air yang tidak mudah terbakar juga mengencerkan gas mudah terbakar dan oksigen di sekitar api, menghambat proses pembakaran. Sisa (Al_2O_3) kemudian membentuk lapisan pelindung di permukaan material, bertindak sebagai penghalang isolasi yang mencegah transfer panas dan pasokan oksigen ke area yang terbakar (Frontiers, 2025). Meskipun sangat efektif, ($\text{Al}(\text{OH})_3$) seringkali memerlukan dosis tinggi dalam polimer, yang berpotensi mempengaruhi sifat mekanik vulkanisat karet, seperti menurunkan kuat tarik atau elongasi dan meningkatkan kekerasan (MDPI, 2025).



Gambar 2.8 Struktur kimia Al_2O_3
(Autthanit *et al.*, 2023)

2. Antimon trioksida

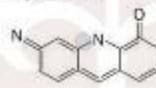
Antimon trioksida adalah senyawa anorganik yang diakui luas sebagai peningkat efek penting dalam sistem penghambat api, terutama bagi formulasi berbasis halogen. Meski efek penghambatan apinya terbatas secara tunggal, kemampuannya berinteraksi meningkat dengan halogen membuatnya sangat efektif dalam meningkatkan performa anti api berbagai polimer, termasuk karet pada *belt conveyor*. Selain fungsi peningkatan efek ini, antimon trioksida juga dapat berfungsi sebagai pigmen putih dan *filler* anorganik (Horváth *et al.*, 2012).

Mekanisme kerja utama Sb_2O_3 dalam sistem penghambat api halogen terjadi di fase gas. Saat material yang mengandung Sb_2O_3 dan sumber halogen terpapar panas, Sb_2O_3 bereaksi membentuk antimon halida yang mudah menguap, seperti antimon triklorida atau antimon oksihalida. Senyawa-senyawa ini dilepaskan ke zona pembakaran dan bertindak sebagai anti radikal, dengan menangkap radikal bebas berenergi tinggi seperti $\text{H}\cdot$ dan $\text{OH}\cdot$, antimon halida secara efektif mengganggu reaksi rantai radikal yang memicu pembakaran, sehingga menghambat propagasi dan memadamkan api (Zhang

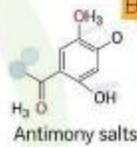
et al., 2024). Penambahan Sb_2O_3 juga dapat mempengaruhi sifat mekanik vulkanisat karet sebagai *filler* anorganik, hal ini bisa meningkatkan kekerasan, namun dosis tinggi dapat menurunkan kuat tarik atau elongasi jika dispersinya buruk. Rasio yang tepat antara Sb_2O_3 dan sumber halogen, disertai dengan dispersi yang baik dalam matriks polimer, sangat penting untuk memperoleh efektivitas *flame retardant* yang optimal tanpa menurunkan karakteristik fisik material.

Antimony trioxide (Sb_2O_3)

Amphoteric



Hydrochloric acid



Antimony salts

Gambar 2.9 Struktur kimia Sb_2O_3
(Makhloufi *et al.*, 2022)

H. Karakteristik *Belt Conveyor*

Belt conveyor adalah sistem transportasi material utama di berbagai industri, dari pertambangan hingga manufaktur. Kinerja, keamanan, dan umur panjang sistem ini sangat bergantung pada karakteristik intrinsik material sabuknya. Karena itu, memilih dan mengoptimalkan sifat-sifat material *belt* menjadi penting untuk operasional yang efisien dan andal (Wang *et al.*, 2023).

Sifat mekanik merupakan penentu utama performa dasar *belt*. Hal ini meliputi kuat tarik yang mengindikasikan kapasitas beban (Ma *et al.*, 2024), kuat sobek untuk mencegah kerusakan meluas dari inisiasi sobekan (Li *et al.*, 2023),

serta ketahanan abrasi yang penting untuk durabilitas jangka panjang, terutama saat mengangkut material abrasif (Zhu *et al.*, 2022). Kekerasan *belt* juga menjadi faktor penting yang mempengaruhi ketahanan permukaannya terhadap deformasi selama penggunaan (Yang *et al.*, 2024).

Ketahanan terhadap kondisi lingkungan ekstrem dan karakteristik khusus lainnya juga sangat penting, disesuaikan dengan aplikasinya. Contohnya, ketahanan panas diperlukan untuk mengangkut material bersuhu tinggi (Guo *et al.*, 2023), sedangkan ketahanan dingin menjamin *belt* tetap fleksibel di suhu rendah ekstrem (Kim & Park, 2023). Ketahanan kimia (termasuk minyak, asam, basa, atau pelarut) melindungi *belt* dari degradasi korosif. Ketahanan api juga menjadi fitur keselamatan utama di lingkungan berisiko tinggi, seperti tambang bawah tanah, yang menuntut *belt* mampu menahan pembakaran dan mencegah penyebaran api sesuai regulasi yang berlaku (Sun *et al.*, 2024). Sifat anti statis penting untuk mencegah percikan api akibat penumpukan muatan listrik di lingkungan yang mudah meledak. Pemilihan *belt conveyor* secara tepat memerlukan pertimbangan menyeluruh terhadap berbagai karakteristik kinerja untuk memastikan proses operasional berlangsung secara efisien, aman, dan berkelanjutan.

I. Sifat Mekanik *Belt Conveyor*

Efektivitas sistem transportasi material, *belt conveyor* adalah komponen penting yang memungkinkan pergerakan bahan curah atau produk secara efisien. Kinerja dan stabilitas *belt conveyor* sangat bergantung pada sifat mekaniknya,

yang dievaluasi melalui serangkaian pengujian mekanik khusus. Pengujian ini memastikan bahwa *belt* mampu menahan beban operasional, lingkungan yang keras dan usia pakai yang panjang. Pengujian mekanik *belt conveyor* terdiri dari:

1. Kekerasan

Kekerasan pada *belt conveyor* mengacu pada tingkat resistansi material sabuk, terutama pada lapisan penutupnya, terhadap deformasi permanen akibat penetrasi atau abrasi. Sifat ini memegang peranan penting dalam menentukan kinerja, durabilitas, dan kesesuaian aplikasi *belt conveyor* di berbagai kondisi operasional. Tingkat kekerasan yang optimal sangat penting karena secara langsung mempengaruhi ketahanan abrasi kemampuan *belt* untuk bertahan dari keausan saat mengangkut material kasar seperti batu bara, bijih, pasir, atau kerikil. Kekerasan yang memadai juga berkontribusi pada daya tahan sabuk terhadap potongan atau tusukan dari material yang tajam. Kekerasan tinggi sangat diinginkan untuk meminimalkan keausan, keseimbangan harus dijaga agar sabuk tetap memiliki fleksibilitas yang cukup untuk melingkar di *pulley* dan *idler* tanpa retak, serta memiliki kekuatan tarik yang memadai untuk menahan beban. Pengujian nilai dari kompon vulkanisat karet diperoleh dari hasil uji kekerasan menggunakan alat uji durometer. Uji ini bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai kekerasan vulkanisat karet. Nilai kekerasan dipengaruhi oleh banyaknya ikatan silang yang terbentuk serta jenis dan jumlah bahan pengisi yang ditambahkan (Hasan *et al.*, 2019). Prinsip kerja dengan mengukur kedalaman lekukan berupa jarum ditekankan

pada spesimen karet diperoleh dengan mengukur kekerasan awal. Waktu pengukuran dilakukan 4-5 kali atau lebih sampai menemukan hasil yang sesuai kemudian dibaca.

2. Kuat tarik

Kuat tarik adalah salah satu sifat mekanik paling penting pada *belt conveyor*, yang secara langsung menentukan kemampuannya untuk beroperasi secara aman dan efisien dalam jangka panjang. Sifat ini mengukur beban maksimum yang dapat ditanggung oleh *belt* sebelum putus atau mengalami kegagalan permanen saat ditarik. Sistem konveyor, *belt* terus-menerus mengalami tegangan tarik akibat berat material yang diangkut, berat *belt* itu sendiri, serta gaya yang diperlukan untuk menggerakkan dan mengatasi gesekan. Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mengetahui kemampuan ketahanan dalam tarikan pada suatu tingkatan daya tertentu (Joseph, 2014). Pengujian ini menggunakan alat *universal tester*, pada uji ini spesimen dipasang dengan sisi atas dan bawah dijepit pada penjepit UTM. Prinsip pengujiannya adalah spesimen uji diberi gaya tarik pada satu arah dan gaya bertambah kontinu. Spesimen akan mengalami deformasi berupa pertambahan panjang sejalan dengan penambahan gaya yang diterapkan secara bertahap. Uji dilakukan sampai spesimen putus kemudian data uji diperoleh melalui grafik pada komputer.

3. Kuat sobek atau *tear*

Kuat sobek adalah karakteristik mekanik yang sangat penting bagi *belt conveyor* karena secara langsung mempengaruhi stabilitas, keamanan, dan umur pakainya. Berbeda dengan kuat tarik yang mengukur beban putus saat ditarik secara merata, kuat sobek secara spesifik membahas kemampuan sabuk untuk menahan robekan agar tidak meluas begitu sudah dimulai, misalnya akibat benda tajam yang menusuk atau material yang tersangkut. Pengujian ini bertujuan mengukur kemampuan material *belt* dalam menahan penyebaran sobekan yang dibentuk, misalnya akibat tusukan atau benturan benda tajam. Mempertimbangkan tingginya risiko kerusakan *belt* dari benda asing selama operasional, kemampuan *belt* untuk membatasi kerusakan ini menjadi sangat penting. Metodologi pengujian kuat sobek umumnya mengikuti standar seperti ISO 340 dan ASTM D624, memastikan hasil yang konsisten dan dapat dibandingkan (Li *et al.*, 2023).

Prosedur uji kuat sobek melibatkan penyiapan sampel *belt* berbentuk khusus (misalnya, spesimen berbentuk bulan sabit). Sampel kemudian ditarik secara terkontrol, dan gaya maksimum yang diperlukan untuk melanjutkan sobekan dicatat. Hasil uji ini penting karena mengindikasikan seberapa baik *belt* dapat mencegah robekan kecil berkembang menjadi kerusakan yang lebih luas dan parah, yang berpotensi menyebabkan kegagalan sistem dan tumpahan material (Chen *et al.*, 2024).

4. Abrasi atau ketahanan kikis

Ketahanan kikis merupakan kemampuan permukaan untuk menahan keausan dengan perlakuan dorongan atau gesekan partikel yang keras (Mauzudah, 2018). Pengujian abrasi apabila nilai ketahanan kikis yang rendah maka produk yang dihasilkan akan mudah aus dan menyebabkan terjadinya kerusakan. Ketahanan abrasi ini menunjukkan pengikisan benda tertentu akibat terkena gesekan (Daud & Rahmانيar, 2017). Prinsip dari pengujian ini adalah dengan cara menggesekkan spesimen pada amplas kikis sebanyak 3 kali. Pengujian diperoleh dengan melihat dan menimbang spesimen uji.

J. Sifat Ketahanan Api

Sifat ketahanan api bertujuan untuk mengetahui kinerja bahan aditif tahan api yang ditentukan terhadap ketahanan apinya (Hull, 2008). Berdasarkan ISO 340 tentang uji ketahanan api pada vulkanisat karet *belt conveyor*, uji ketahanan api merupakan pengujian terhadap ketahanan api melalui proses pembakaran. Vulkanisat karet ketika dibakar area yang diujikan tidak terbakar ataupun vulkanisat karet mampu memadamkan api dengan sendirinya dalam waktu dari 45 detik. Pengujian ini menggunakan alat bunsen, korek dan gas untuk membakar lapisan atas *belt conveyor* dan spesimen ini dilakukan pengukuran waktu dari 45 detik.

BAB III

METODE TUGAS AKHIR

A. Metode Pelaksanaan Tugas Akhir

Tugas akhir ini dilakukan dalam bentuk pemecahan masalah yang ditemukan selama magang. Metode yang digunakan penulis untuk menyelesaikan masalah adalah melakukan eksperimen laboratorium. Metode penelitian eksperimen adalah metode di mana penyebab dan efek ditentukan antara variabel dependen dan independen. Tahap awal sebelum melakukan percobaan, dilakukan rancangan percobaan, perancangan percobaan merupakan suatu rancangan yang dibuat untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan dan berkaitan dengan persoalan dilakukan sehingga akan membawa penelitian pada analisis dan kesimpulan secara objektif (Susilawati, 2015).

1. Metode pengumpulan data primer

Metode ini dilakukan dengan cara mengumpulkan data diperoleh secara langsung dari pihak perusahaan. Peneliti mengumpulkan data primer melalui observasi langsung di lapangan dan laboratorium. Metode yang digunakan untuk memperoleh data ini yaitu:

a. Observasi

Teknik pengumpulan data yang dilakukan dengan mengamati kegiatan dan objek yang berkaitan dengan proses pembuatan kompon, proses pencetakan hingga proses pengujian.

b. Wawancara

Teknik pengumpulan data yang dilakukan dengan bertanya langsung kepada staf, karyawan maupun operator yang berkaitan dengan objek yang sedang diamati.

c. Dokumentasi

Metode yang dilakukan dengan mengumpulkan data berupa gambar, foto, arsip, maupun bagan yang berkaitan dengan tinjauan spesifikasi proses pembuatan kompon di pabrik menggunakan media kamera.

d. Praktek kerja langsung

Melaksanakan praktek kerja langsung dan mengikuti alur proses pembuatan karet *belt conveyor* di PT Karet Ngagel Surabaya Wira Jatim.

2. Metode pengumpulan data sekunder

Metode ini yaitu mengumpulkan data yang dilakukan secara tidak langsung melalui perantara. Sumber data ini digunakan berupa studi pustaka. Metode ini melibatkan pengumpulan data dan informasi dari dokumen berisi teori-teori pendukung yang relevan untuk tugas akhir.

B. Lokasi dan Waktu Pengambilan Data

Lokasi pengambilan data untuk tugas akhir dilakukan selama pelaksanaan magang dan melakukan percobaan yang berada di PT. Karet Ngagel Wira Jatim yang berada di JL. Mastrip No. 7 Karang Pilang, Surabaya, Jawa Timur. Waktu

percobaan dan pengambilan data dilakukan selama 3 bulan pada tanggal 1 Februari 2025-5 Mei 2025.

C. Materi Pelaksanaan Tugas Akhir

Materi yang berkaitan dengan alat dan bahan dalam pelaksanaan tugas akhir untuk proses pembuatan lapisan luar *belt conveyor* dapat dilihat pada tabel 3.1.

1. Alat yang digunakan

Tabel 3.1 Alat dan mesin pelaksanaan tugas akhir

No	Nama Alat	Gambar	Keterangan
1.	Open two-roll mill		Mesin yang digunakan untuk pencampuran dan pendispersi bahan karet dengan bahan aditif yang menghasilkan kompon yang homogen.
2.	Press moulding machine		Mesin yang digunakan untuk mencetak kompon karet dengan cara ditekan dan panaskan dengan waktu dan suhu tertentu.
3.	Thermogun		Alat yang digunakan untuk mengukur suhu permukaan karet tanpa kontak langsung. Menggunakan teknologi infra merah untuk mendeteksi radiasi panas yang dipancarkan oleh objek.

4.	Gunting dan cutter		Alat yang digunakan untuk memotong lembaran kompon karet untuk dilakukan pencetakan.
5.	Timbangan digital		Alat yang digunakan untuk menimbang bahan aditif dan bongkahan karet sebelum dilakukan pendispersian.
6.	Timbangan analitik		Alat yang digunakan untuk menimbang sampel uji sebelum dan sesudah dilakukannya uji abrasi.
7.	Universal testing machine		Alat yang digunakan untuk menguji kekuatan tarik dan perpanjangan putus spesimen karet, spesimen berbentuk dumbbell dan spesimen bentuk bulan sabit (metode c)

8.	Mesin rheometer		Alat yang digunakan untuk mengetahui hasil waktu vulkanisasi terhadap kompon.
9.	Mesin uji abrasi		Alat yang digunakan untuk menguji produk karet guna mengetahui nilai abrasinya.

<p>10. Seperangkat alat uji bakar (gas dan selang, tiang penyangga dan clamp, tempat pembakaran)</p>	 The image consists of three vertically stacked photographs. The top photo shows a red gas cylinder with orange hoses connected to a metal plate. The middle photo shows a metal support stand with a clamp holding a metal plate. The bottom photo shows a large, rectangular metal combustion chamber with a central opening.	<p>Alat yang digunakan untuk menguji produk atau sampel guna mengetahui lama padamnya api.</p>
--	---	--

11.	Cetakan abrasi		Alat atau cetakan berbentuk lubang kecil-kecil yang digunakan untuk membuat sampel uji abrasi dengan dicetak di mesin <i>hot press moulding</i> .
12.	Durometer		Alat yang digunakan untuk mengukur kekerasan kompon karet, pada kompon ini menggunakan shore A.
13.	Mesin vulkanisasi		Mesin yang digunakan untuk menyatukan dan mengeraskan lapisan dengan tipe press lembaran yang dipanaskan.
14.	Mesin cord fabric		Mesin yang digunakan untuk menggabungkan benang ke dalam lembaran karet.

15.	Mesin calendering		Mesin yang digunakan untuk menggabungkan lapisan karet dengan bahan penguat seperti kain.
-----	-------------------	---	---

2. Bahan yang digunakan

Tabel 3.2 Bahan pelaksanaan tugas akhir

No	Nama Bahan	Gambar	Keterangan
1.	Karet alam		Karet alam yang digunakan yaitu SIR 20 sebagai elastomer berwarna coklat, bergelembung.
2.	Karet sintetis		Karet sintetis yang digunakan yaitu SBR (<i>Styrene Butadiene Rubber</i>) sebagai elastomer.
3.	<i>Carbon black</i>		<i>Carbon black</i> yang digunakan yaitu N330 sebagai bahan pengisi (<i>reinforced filler</i>) meningkatkan sifat fisis seperti kekerasan, kuat tarik, dan lain-lain.

4.	<i>Calcium carbonate</i>		Bahan pengisi yang lain yaitu <i>calcium carbonate</i> sebagai bahan pengisi (<i>non reinforced filler</i>) yang tidak meningkatkan sifat fisis namun membantu menekan biaya produksi.
5.	Antimoni		Sebagai <i>filler flame retardant</i> untuk meningkatkan tahan api.
6.	Alumina		Sebagai <i>reinforcing filler</i> yang memperlambat <i>curing</i> dan menghambat api.
7.	<i>Plasticizer</i>		Sebagai bahan pelunak atau pemlastik dapat disebut sebagai <i>plasticizer</i> .
8.	Antiozon		Bahan yang digunakan untuk meningkatkan daya rekat kompon atau digunakan sebagai anti ozon.

9.	Antioksidan		Sebagai bahan untuk menambah adhesivitas.
10.	Asam stearat		Sebagai <i>activator</i> atau penggiat.
11.	Zinc oxide		Sebagai <i>activator</i> atau penggiat.
12.	CBS		Sebagai pencepat (<i>accelerator</i>) yang tergolong <i>sulfenamide</i> (cepat ditunda).
13.	TMTD		Sebagai pencepat (<i>accelerator</i>) yang tergolong <i>thiuram</i> (cepat).

14.	Sulfur		Sebagai bahan pemvulkanasi
-----	--------	---	----------------------------

3. Formulasi percobaan

Penyusunan formulasi ini untuk mengevaluasi ketahanan api *belt conveyor* dengan mengacu pada standar ISO 340. Strategi penyusunan formulasi melibatkan variasi alumina dan antimoni. Percobaan akan dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi alumina. Sifat mekanik yang akan diuji mencakup kekerasan, kuat tarik, kuat sobek, uji abrasi dan dilakukan pengujian ketahanan api sesuai ISO 340. Formulasi yang digunakan dalam percobaan ini disajikan pada Tabel 3.3.

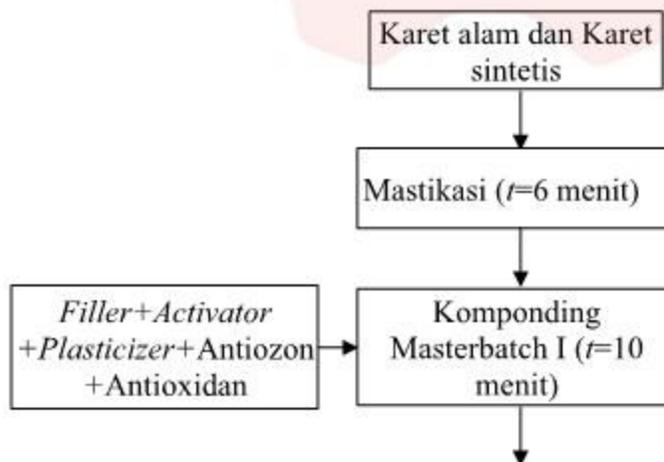
Tabel 3.3. Formulasi variasi phr penggunaan alumina dan antimoni

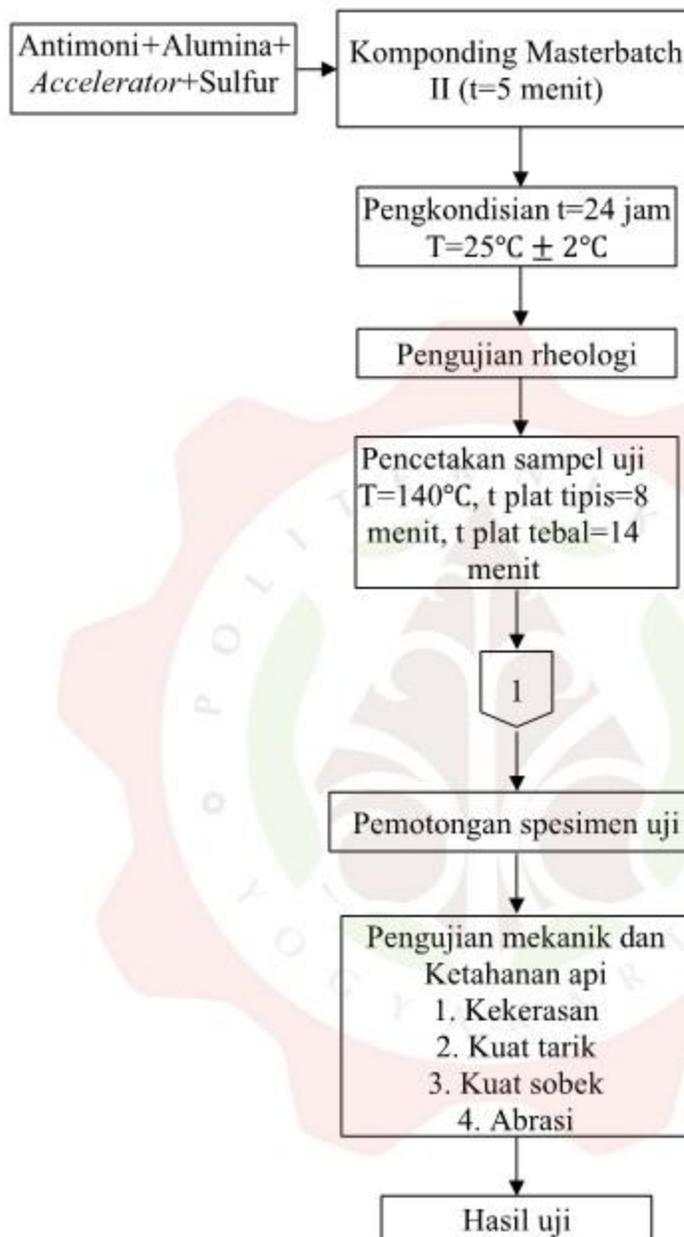
No	Jenis Bahan	Phr				
		5AL:10A M	10AL:10A M	15AL:10A M	20AL:10A M	25AL:10A M
1.	SIR	70	70	70	70	70
2.	SBR	30	30	30	30	70
3.	Carbon black	30	30	30	30	30
4.	Calcium carbonate	20	20	20	20	20
5.	Antimoni	10	10	10	10	10
6.	Alumina	5	10	15	20	25
7.	Plasticizer	10	10	10	10	10
8.	Antiozon	3	3	3	3	3

9.	Antioksidan	3	3	3	3	3
10.	Asam stearat	2	2	2	2	2
11.	Zinc oxide	5	5	5	5	5
12.	CBS	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
13.	TMTD	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
14.	Sulfur	4	4	4	4	4

4. Proses pembuatan produk sampel untuk pengujian

Guna memperoleh hasil yang sistematis dan terarah, diperlukan suatu skema kerja yang menggambarkan tahapan penyelesaian pembuatan sampel produk *belt conveyor* untuk pengujian. Skema kerja ini disusun guna memberikan gambaran alur pembuatan yang akan dilakukan dari awal hingga akhir proses. Skema kerja dengan memvariasikan bahan tahan api dengan dosis alumina yang berbeda dan antimoni, proses ini diilustrasikan di gambar 3.1.





Gambar 3.1 Skema kerja sampel pembuatan dan pengujian *belt conveyor* dengan memvariasikan dosis alumina dan antimoni

Gambar 3.1 merupakan skema kerja sampel pembuatan dan pengujian *belt conveyor* dengan memvariasikan dosis alumina dan antimoni

yang terdiri dari proses pencampuran bahan (penimbangan, mastikasi, *compounding masterbatch I*, *compounding masterbatch II*), pengkondisian, uji rheologi, pencetakan sampel uji, pemotongan spesimen uji, pengujian mekanik dan uji ketahanan api. Secara rinci dapat dijelaskan pada langkah-langkah sebagai berikut.

a. Proses pencampuran bahan

Proses pencampuran bahan ini meliputi dari mastikasi, *masterbatch I* dan *masterbatch II*. Hal pertama yang dilakukan yaitu menyiapkan material dengan menimbang bahan-bahan, penimbangan dapat disesuaikan dengan formulasi yang telah dibuat. Tahap berikutnya setelah material ditimbang lanjut pada proses komponding yaitu:

1) Mastikasi

Proses mastikasi ini untuk mempermudah masuknya bahan pengisi dan bahan-bahan kimia lain. Mastikasi ini karet yang semula keras dan kasar dilunakkan sehingga mempermudah proses komponding. Mastikasi ini menggunakan mesin *two roll mill*. Bahan pertama yang dimasukkan ke dalam *two roll mill* adalah karet alam dan karet sintetis. Proses mastikasi berlangsung selama 6 menit. Tujuan dari mastikasi yaitu untuk menurunkan viskositas karet sehingga akan mempermudah pencampuran polimer dan bahan penyusun kompon produk karet *belt conveyor*.

2) *Masterbatch I*

Masterbatch I atau yang biasa disebut pencampuran tahap I merupakan proses lanjutan dari mastikasi dimana pada saat karet sudah melunak akan ditambahkan bahan aditif dan *filler*. Pada tahap ini proses penambahan bahan dilakukan dengan menambahkan bahan aditif secara bersamaan. Bahan yang ditambahkan antara lain *filler, plasticizer, activator 1, activator 2, antioksidan, dan antiozon*. Pencampuran dilakukan selama 10 menit hingga homogen.

3) *Masterbatch II*

Masterbatch II atau biasa disebut dengan *final batch* merupakan tahap lanjutan dari *masterbatch I* dengan komposisi bahan yang berbeda. Pada *masterbatch II* bisa disebut proses sulfuring. Bahan yang ditambahkan terdiri dari kompon mentah dari proses *masterbatch I*, tahap ini bahan yang ditambahkan terdiri dari alumina, antimoni, *accelerator*, dan *vulcanizing agent*. Proses ini dilakukan selama 5 menit. Pada saat penggilingan sesekali dilakukan penyobekan pada kompon untuk memudahkan pencampuran hingga homogen. Tujuan dari penambahan bahan pemvulkanisasi di akhir proses komponding yaitu agar tidak terjadi pematangan dini atau *scorching* pada kompon.

b. Pengkondisian

Kompon karet yang telah di komponding didinginkan di ruangan selama 24 jam dengan suhu $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ hal ini dilakukan agar tidak terjadi pematangan dini karena kompon terlalu panas yang dapat merusak kualitas produk akhir.

c. Uji rheologi

Kompon karet yang telah dikondisikan kemudian dilakukan proses pematangan dan proses pencetakan kompon pada mesin rheometer dengan memotong kompon berbentuk kotak persegi sejumlah 3 sampel, kemudian dicetak pada suhu 170°C dengan waktu 90 detik setiap sampel.

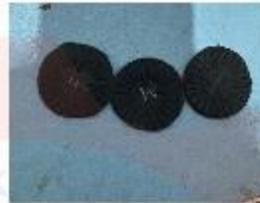
d. Proses pencetakan sampel uji

Kompon karet yang telah dimatangkan pada mesin rheometer kemudian kompon karet dilakukan pengepresan pada mesin *hot press moulding* untuk membuat plat tebal dan plat tipis. Pemotongan kompon karet untuk plat tipis disesuaikan dengan ukuran *mould* yang digunakan, ukuran dari *mould* ini yaitu panjang 150 mm, lebar 100 mm, dan tinggi 10 mm. *Mould* untuk plat tebal disesuaikan dengan bentuk lingkaran *mould*, tidak ada ukuran namun kompon karet memenuhi lubang. Waktu untuk pencetakan ini dilakukan didapatkan dari uji rheologi. Perhitungan untuk waktu pencetakan menggunakan persamaan 1 sebagai berikut:

$$\text{Waktu pencetakan} = \frac{\text{tebal plating}}{\text{tebal rheo}} \times tc90 \quad (1)$$

e. Pemotongan spesimen uji

Kompon yang telah diuji rheologi diukur tingkat kekerasannya menggunakan durometer shore A. Bentuk sampel uji kekerasan seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Sampel uji kekerasan

Vulkanisat dengan plat tipis, dipotong membentuk dumbbell dan potongan uji bulan sabit (metode c), sampel ini digunakan untuk pengujian kuat tarik dan kuat sobek. Pembuatan sampel uji dumbbell dan uji bulan sabit dilakukan dengan cetakan dan alat press manual. Metode ini menjamin presisi sampel dan mencegah timbulnya takik yang berpotensi mempengaruhi validitas pengujian. Sampel bentuk dumbbell dan bulan sabit (metode c) bisa dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Sampel bentuk dumbbell dan bulan sabit (metode c)

Vulkanisat kompon untuk uji abrasi berbentuk silinder, vulkanisat ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan kikisnya yang nantinya berupa nilai dalam satuan mm^3 . Bentuk sampel uji abrasi seperti pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Sampel uji abrasi

f. Pengujian mekanik

Pengujian ini untuk mengetahui sifat mekanik dari vulkanisat produk karet *belt conveyor*. Pengujian mekanik yang dilakukan antara lain:

1) Kekerasan (*hardness*)

Pengujian kekerasan ini untuk mengetahui seberapa baik material dapat menahan tekanan, deformasi, dan keausan vulkanisat di tiga titik yang berbeda pada setiap sampel dengan menggunakan durometer shore A. Ketiga hasil nilai yang didapat kemudian di rata-rata untuk mendapatkan nilai kekerasan. Nilai kekerasan *belt conveyor* yang didapat mengacu pada standar ASTM D2240.

2) Uji kuat tarik

Pengujian kuat tarik ini menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*), pengujian ini diukur ketebalan sampel dan lebar sampel. Nilai kuat tarik yang didapat muncul pada layar komputer tanpa dilakukan perhitungan manual. Perhitungan uji kuat tarik *belt conveyor* yang mengacu pada ASTM D412 menggunakan persamaan 2 sebagai berikut.

$$TS = \frac{F_{maks}}{A} \quad (2)$$

dimana,

TS : *Tensile Strength* (N/mm² atau MPa, atau PSI)

Fmaks : Gaya maksimum yang dicapai selama pengujian sebelum spesimen patah (N atau lbf)

A : Luas penampang awal spesimen (mm² atau in²)

3) Uji kuat sobek (*tear*)

Pengujian kuat sobek sama dengan uji kuat tarik yaitu menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*), pengujian ini hanya diukur ketebalan sampel, karena sampel yang digunakan berbentuk bulan sabit seperti gambar 3.3. Nilai kuat sobek yang didapat muncul pada layar komputer tanpa dilakukan perhitungan manual. Perhitungan uji kuat sobek *belt conveyor* yang mengacu pada ASTM D624 menggunakan persamaan 3 sebagai berikut.

$$\text{Tear Strength} = \frac{P}{t} \quad (3)$$

dimana,

P : Gaya yang terukur selama proses sobek (Newton, atau pound, lbf).

t : Ketebalan asli spesimen uji (milimeter atau inci).

4) Uji abrasi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan kompon karet terhadap abrasi atau ketahanan kikis. Sampel uji dilakukan sebanyak 3 kali pada mesin drum putar. Nilai abrasi dihitung berdasarkan standar ASTM 5963 dapat dilihat di bawah ini. Perhitungan ketahanan abrasi sesuai dengan ASTM 5963 menggunakan persamaan 4 sebagai berikut.

$$I_A = \frac{\Delta m_1 \times S_o}{d_1 \times S} \quad (4)$$

dimana,

I_A : Ketahanan abrasi (mm^3)

Δm_1 : Total massa sampel yang hilang (g)

Δm_1 : Berat awal sampel-Berat akhir sampel setelah pengujian abrasi

S_o : Normal *abrasiveness* (mg)

d_1 : Densitas sampel abrasi (g/cm^3)

$$d_1 = \frac{\text{massa sampel di udara}}{\text{massa sampel di udara} - \text{massa sampel di air}} \times \rho_{\text{air}} (\text{g}/\text{cm}^3)$$

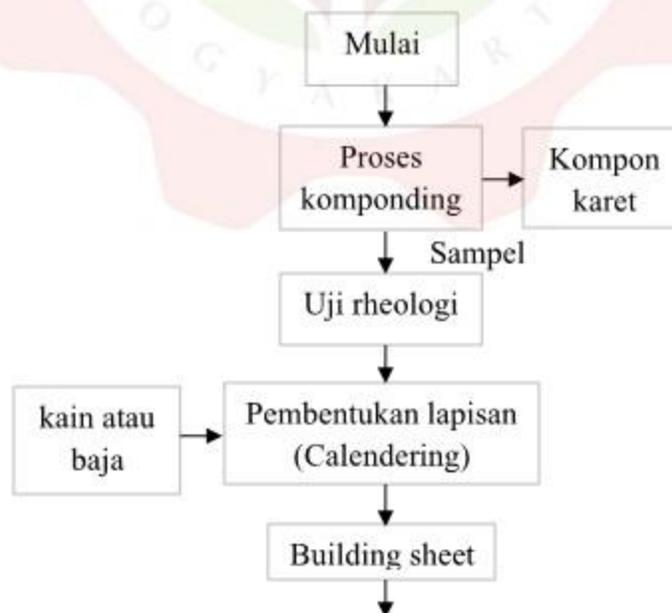
$$\rho_{\text{air}} = 1,02 \text{ g}/\text{cm}^3$$

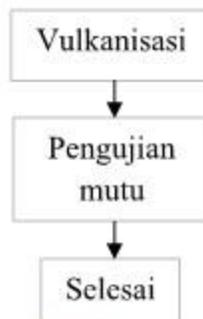
S : Index standar abrasi kompon karet (0,18) (mg)

g. Uji ketahanan api

Pengujian disesuaikan dengan ISO 340 tentang standar pengujian kompon dengan kondisi ruangan terbuka dengan udara yang stabil. Posisikan statif dan klem berdiri tegak, mengaitkan spesimen pada klem, dan menghubungkan tabung gas dengan sumbu api, lalu menhidupkan api hingga api berwarna biru dengan tinggi 75 mm. Kemudian letakkan statif dan klem pada sumbu api pada jarak ± 50 cm, dan posisikan klem pada sudut 45° ke arah sumbu, kemudian dilakukan proses pembakaran selama 45 detik. Setelah 45 detik, belokkan statif ke arah menjauhi api dan diamkan hingga api padam sampai menghitung waktu untuk memadamkan.

5. Proses pembuatan *belt conveyor*





Gambar 3.5 Proses pembuatan *belt conveyor*

Proses pembuatan *belt conveyor* diawali dengan tahap persiapan bahan utama yaitu kompon karet dan material penguat seperti kain atau kawat baja. Tahap pertama adalah proses komponding dengan mencampurkan bahan dasar karet dengan bahan tambahan aditif seperti *filler*, *plasticizer*, *activator*, zat *antioksidan*, *accelerator*, dan *vulcanizing agent*. Proses ini bertujuan untuk menghasilkan sifat-sifat mekanik karet yang diinginkan, seperti kekerasan, kuat tarik, kuat sobek dan ketahanan abrasi.

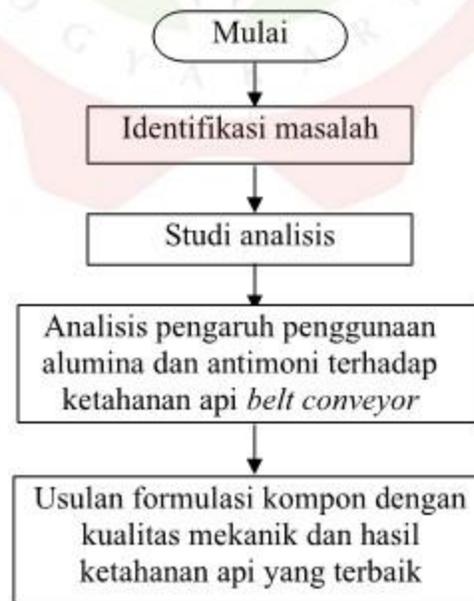
Setelah itu, dilakukan uji rheologi terhadap sampel karet yang telah dicampur. Uji ini untuk mengetahui karakteristik aliran karet saat diproses, guna memastikan karet dapat diolah dengan baik pada tahap selanjutnya. Hasil kompon yang sudah memenuhi standar kemudian masuk ke proses pembentukan lapisan (*calendering*). Pada tahap ini, penguat seperti kain atau baja dilapisi dengan lembaran karet menggunakan mesin calender untuk membentuk struktur dasar dari *belt conveyor*. Lembaran-lembaran yang sudah terbentuk kemudian disusun dan dirakit pada tahap *building sheet*, yaitu proses penyusunan lapisan-lapisan karet dan bahan penguat menjadi bentuk

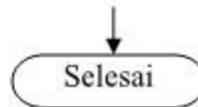
belt conveyor. Setelah proses penyusunan selesai, dilakukan tahap vulkanisasi, yaitu proses pemanasan lembaran karet untuk mengikat molekul karet secara permanen melalui reaksi kimia, vulkanisasi menjadikan karet lebih elastis, kuat, dan tahan terhadap suhu tinggi.

Proses vulkanisasi telah selesai, dilakukan pengujian mutu untuk memastikan *belt conveyor* yang dihasilkan memenuhi standar kualitas. Pengujian ini mencakup salah satunya pengukuran kekerasan, kekuatan tarik, ketahanan sobek, ketahanan abrasi dan ketahanan terhadap api. Hasil pengujian yang memenuhi syarat *belt conveyor* siap untuk digunakan dan dikirim ke pelanggan.

6. Tahap penyelesaian tugas akhir

Tindak lanjut dari penjelasan metodologi tugas akhir, skema alur penyelesaian secara komprehensif divisualisasikan pada gambar 3.6.





Gambar 3.6 Diagram alir proses penyelesaian tugas akhir

Penjelasan mengenai alur penyelesaian tugas akhir sesuai gambar 3.6 sebagai berikut.

a. Identifikasi masalah

Tahap identifikasi dilakukan selama proses magang di PT. Karet Ngagel Surabaya Wira Jatim melalui observasi dan wawancara. Observasi dilakukan dengan mengamati langsung proses pembuatan *belt conveyor* yang tahan terhadap api, sementara wawancara melibatkan staf R&D sebagai narasumber.

Permasalahan yang muncul dari kedua metode tersebut adalah bahan tahan api, yakni alumina dan antimoni. Meskipun demikian, konsentrasi tersebut belum mencapai standar yang dipersyaratkan untuk ketahanan api *belt conveyor*. *Belt conveyor* mengangkut beberapa material yang berisiko terhadap kebakaran, sehingga perlu percobaan dengan memvariasikan konsentrasi alumina dan antimoni.

b. Studi analisis

Tahap selanjutnya adalah studi analisis literatur, di mana literatur sebagai referensi. Tujuannya adalah untuk memahami bagaimana penggunaan alumina dan antimoni sebagai bahan untuk ketahanan api pada *belt conveyor*, serta informasi relevan lainnya

mengenai bahan ini mempengaruhi sifat mekanik produk *belt conveyor*. Hasil studi literatur ini akan menjadi panduan utama dan dasar pertimbangan sebelum melakukan serangkaian percobaan.

Pengumpulan data dalam studi analisis ini akan difokuskan pada dua metode utama yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh langsung dari percobaan yang dilakukan selama magang. Hasil percobaan ini akan disajikan dalam bentuk tabel dan diagram untuk memudahkan analisis dan perbandingan data sekunder. Pengumpulan data sekunder akan dilakukan dari publikasi terkemuka, termasuk jurnal, *e-book*, artikel, prosiding, dan buku. Data ini berfungsi sebagai pendukung dan landasan teoritis yang relevan untuk memperkuat temuan dari data primer. Percobaan dilakukan dengan memvariasikan formulasi karet *belt conveyor*. Secara spesifik akan memvariasikan alumina dalam formulasi standar perusahaan.

- c. Analisis pengaruh penggunaan alumina dan antimoni terhadap ketahanan api *belt conveyor*

Percobaan dan pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa alumina dan antimoni menjadi solusi untuk masalah ketahanan api. Penulis mengusulkan formulasi kompon yang memenuhi SNI 340 untuk *belt conveyor* yang tahan terhadap api. Keefektifan penanganan masalah bahan dicapai melalui formulasi optimal, yang secara signifikan meningkatkan kualitas.

- d. Usulan formulasi kompon dengan kualitas mekanik dan ketahanan api yang terbaik

Melakukan studi literatur guna memahami karakteristik alumina dan antimoni sebagai bahan *flame retardant*, serta menelaah standar uji ketahanan api pada *belt conveyor*. Rumusan permasalahan dan tujuan penelitian berdasarkan celah penelitian yang ditemukan, terutama terkait efektivitas dan kombinasi penggunaan kedua bahan tersebut dalam meningkatkan ketahanan api. Melakukan perancangan percobaan yang meliputi penentuan variasi phr alumina dan antimoni dalam formulasi kompon karet, serta penentuan metode uji ketahanan api yang akan digunakan. Tahap berikutnya adalah persiapan material dan pembuatan spesimen, yang mencakup proses mastikasi, pencampuran di mesin *two roll mill*, dan vulkanisasi untuk menghasilkan lembaran kompon siap uji. Melakukan pengujian ketahanan api terhadap masing-masing spesimen sesuai metode standar, dan hasilnya dianalisis secara kuantitatif untuk mengevaluasi pengaruh masing-masing variasi terhadap performa tahan api. Tahapan ini diikuti oleh pengolahan data, analisis hasil, serta penarikan kesimpulan mengenai komposisi yang paling optimal. Seluruh proses dan temuan penelitian didokumentasikan dalam bentuk laporan tugas akhir yang disusun secara sistematis, dan dipresentasikan dalam sidang akademik sebagai bentuk evaluasi akhir.