

Simulasi Kebisingan pada Ban Mobil dalam Rangka Perancangan Ban yang Ramah Lingkungan

Rachman Setiawan¹, Muhammad Yusuf¹ dan Nanang Ali Sutisna²

¹Fakultas Teknik Mesin & Dirgantara ITB,
Gd. Labtek II, Jl. Ganesha 10, Bandung 40132

²*R&D Modeling and Simulation*, PT Multistrada Arah Sarana, Tbk.

Kontak:

Phone: +62-22-2500979, e-mail: rachmans@edc.ms.itb.ac.id

ABSTRACT

Di samping fungsi utama sebagai penopang beban sekaligus suspensi, menghasilkan traksi longitudinal dan traksi lateral, saat ini ban kendaraan juga dituntut untuk memiliki karakteristik yang mendukung isu lingkungan hidup. Kebisingan pada ban saat kendaraan berjalan mungkin sering terabaikan oleh kontribusi kebisingan akibat mesin atau knalpot. Namun, seiring peningkatan kecepatan kendaraan kontribusi kebisingan ban menjadi semakin signifikan. Aspek kebisingan pada ban inilah, di samping faktor hambat gelinding (*rolling resistance factor*) dan keausan, menjadi parameter penting dalam perancangan ban yang ramah lingkungan, atau *eco-friendly tyre*. Di beberapa negara maju, aspek kebisingan pada ban sudah mulai diterapkan secara ketat, sebagai komitmen terhadap peningkatan kualitas lingkungan. Untuk itu, pabrikan ban di seluruh dunia harus mulai memasukkan faktor kebisingan ini saat mengembangkan dan merancang produk baru. Sebagai langkah awal perancangan ban dengan memperhatikan aspek kebisingan, dalam makalah ini, dipaparkan usaha simulasi numerik untuk memperkirakan tingkat kebisingan pada ban kendaraan yang sedang berjalan. Perbandingan hasil simulasi dari tiga tipe dengan hasil uji kebisingan yang dilakukan di salah satu fasilitas uji kebisingan ban internasional. Faktor koreksi diterapkan berdasarkan pengaruh jarak observasi yang berbeda antara kondisi simulasi dengan kondisi pengujian. Hasil simulasi setelah penerapan faktor koreksi mendekati hasil uji lapangan, dengan perbedaan terbesar 1,00%. Dengan strategi simulasi numerik yang akurat, diharapkan proses perancangan akan semakin efisien dan efektif, sehingga lead time pengembangan produk baru akan semakin singkat. Lebih lanjut, dengan pengembangan produk ban yang memperhatikan aspek lingkungan, diharapkan produk dalam negeri ini dapat bersaing secara global menjawab tantangan perancangan berwawasan lingkungan.

Kata kunci: Ban, Kebisingan, Simulasi numerik.

1. Pendahuluan

Ban kendaraan merupakan salah satu komponen penting dalam kendaraan. Fungsi utama ban kendaraan adalah sebagai penumpu kendaraan yang sekaligus memungkinkan kendaraan dapat melaju. Sebagai penumpu, ban memiliki fungsi sebagai suspensi yang cukup kuat menopang keseluruhan berat kendaraan sekaligus meredam getaran pertama akibat ketidakrataan jalan. Ban penggerak memiliki fungsi tambahan untuk mengubah torsi poros yang berasal dari sistem penggerak menjadi traksi saat bagian ban berkontak dengan permukaan jalan, sehingga memungkinkan kendaraan berakselerasi. Fungsi traksi juga diberikan saat proses pengereman. Torsi pengereman dari sistem pengereman diubah menjadi traksi pengereman pada ban yang

memungkinkan kendaraan melambat. Lebih lanjut, dalam kasus kendaraan membelok, ban juga harus mampu memberikan cengkeraman lateral yang memadai sehingga kendaraan dapat berbelok sesuai keinginan tanpa terjadi slip yang dapat membahayakan pengemudi. Fungsi di atas haruslah berlaku baik dalam kondisi jalan kering maupun basah.

Berdasarkan fungsi-fungsi tersebut di atas, ban haruslah memiliki karakteristik kekuatan dan daya cengkeram, baik secara longitudinal untuk menghasilkan traksi maupun kestabilan lateral saat berbelok.



Gambar 1. Kondisi kendaraan saat di tikungan yang basah

Dari fungsi utamanya, geometri ban berbentuk toroidal dengan material bersifat visko-elastis. Ban kendaraan, pada umumnya terbuat dari bahan utama campuran berbagai jenis karet, antara lain karet alami, *Styrene Butadiene Rubber*, *Butadiene Rubber*, *Isoprene Rubber*, maupun *Halogenated Butyl Rubber*. Selain itu, bahan karet diperkuat dengan kawat baja untuk *bead core*, maupun untuk *carcass*. Dengan komposisi material dan konstruksi ban tertentu, dapat dihasilkan karakteristik kekuatan dan suspensi ban seperti yang diinginkan.

Di samping fungsi dan karakteristik utama ban, manusia di dunia sampai pada kesadaran yang lebih tinggi mengenai pelestarian lingkungan hidup. Usaha ini menyangkut hampir di semua lini industri, termasuk industri otomotif. Sebagai salah satu komponen otomotif yang penting, aspek lingkungan hidup juga berpengaruh pada regulasi produk ban kendaraan, yang biasa disebut *eco-friendly tyre*. Wawasan lingkungan pada perancangan ban menyangkut aspek hambatan gelinding (*rolling resistance*), tingkat kebisingan dan keausan. Salah satu regulasi yang cukup ketat dan mulai diterapkan di Eropa adalah *United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) Regulation No. 117 rev. 02* [1]. Kecenderungan ini hampir dipastikan akan menyebar ke seluruh belahan dunia, sehingga setiap produsen ban kendaraan harus segera mengantisipasinya. Pengetahuan dan teknologi perancangan dan produksi ban yang selama ini dikuasai oleh produsen ban dalam negeri haruslah mulai diperbarui dengan adanya kebutuhan pasar yang relatif baru ini. Untuk itu, produsen ban nasional haruslah mulai melakukan usaha-usaha riset dan pengembangan produk sesegera mungkin untuk mengantisipasi tantangan masa depan yang sudah di depan mata.

Selama ini, pengembangan produk baru dimulai dengan tahap perancangan berdasarkan pengetahuan individual para ahli di perusahaan. Perancangan

meliputi pemilihan komposisi material, konstruksi ban dan model tapak ban. Berdasarkan model keseluruhan ban, mold dirancang untuk selanjutnya diproduksi oleh perusahaan lain dengan biaya yang tidak kecil untuk masing-masing model dan ukuran ban. Dengan menggunakan mold yang telah dibuat, hingga prototipe ban baru dihasilkan. Untuk memenuhi persyaratan standar, prototipe produk baru ini harus menjalani serangkaian pengujian langsung oleh institusi yang telah disetujui oleh pemerintah negara tujuan ekspor. Misalnya, untuk memenuhi regulasi di Eropa, pengujian kebisingan ban harus dilakukan di lintasan khusus di Belanda. Jika lulus, maka prototipe dapat diproduksi massal dan boleh dipasarkan ke negara tersebut. Namun, jika tidak memenuhi persyaratan, maka prototipe harus dimodifikasi yang tak jarang melibatkan keseluruhan proses perancangan dan pembuatan prototipe. Pengembangan produk baru yang meliputi proses perancangan, pembuatan mold dan pengujian di luar negeri tentu saja memerlukan biaya yang cukup besar, apalagi jika proses iterasi tersebut di atas berulang beberapa kali hingga diperoleh prototipe produk yang memenuhi persyaratan.

Salah satu strategi untuk mengurangi biaya pengembangan produk adalah dengan menggunakan teknologi simulasi numerik yang akurat dalam proses perancangan. Hal ini dilakukan dengan melakukan analisis/simulasi terhadap rancangan terlebih dahulu dari berbagai aspek untuk memperkirakan karakteristiknya. Jika belum memenuhi, rancangan dapat segera dimodifikasi dan dianalisis ulang hingga memenuhi persyaratan. Setelah itu, barulah rancangan direalisasikan dalam produksi prototipe dan diuji. Dengan proses optimasi rancangan dan simulasi yang dilakukan secara numerik, diharapkan biaya dan durasi pengembangan produk dapat ditekan.

Sebagai tahap awal pengembangan metodologi perancangan ban, kriteria kebisingan menjadi fokus dalam penelitian yang dilaporkan dalam makalah ini, di antara beberapa karakteristik *eco-friendly tyre*. Kebisingan pada ban saat kendaraan berjalan mungkin sering terabaikan oleh kontribusi kebisingan akibat mesin atau knalpot. Namun, seiring peningkatan kecepatan kendaraan, kontribusi kebisingan ban menjadi semakin signifikan. Menurut Iwao dan Yamazaki [2], pada kecepatan relatif tinggi, kebisingan akibat ban berkontribusi hingga 30,3% terhadap keseluruhan kebisingan akibat kendaraan, sebagai penyebab tertinggi kedua setelah mesin.

Dengan telah diberlakukannya regulasi yang ketat mengenai aspek kebisingan ini dan terbatasnya pengetahuan produsen ban dalam hal baru ini, maka diperlukan strategi simulasi numerik yang akurat untuk memperkirakan karakteristik kebisingan ban sebelum diproduksi, seperti yang akan dipaparkan dalam makalah ini.

Simulasi kebisingan pada ban dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak khusus *SilentRoll*. Strategi pemodelan dieksplorasi dengan mevalidasi hasil terhadap hasil pengujian kebisingan yang dilakukan di lintasan khusus di Belanda yang telah memenuhi persyaratan Standar UNECE 117.02. Dengan strategi simulasi yang akurat ini, diharapkan perancangan dengan sasaran utama kebisingan rendah dapat dilakukan secara efektif dan efisien.

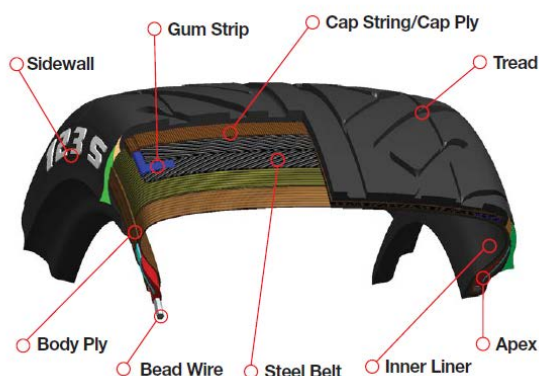
2. Teknologi Ban

2.1. Terminologi Ban

Berbagai model produk ban dapat dibedakan berdasarkan material penyusun, konstruksi dan geometri tapaknya. Masing-masing model biasanya diproduksi untuk berbagai ukuran, yang direpresentasikan dalam penomoran ban dengan arti masing-masing sebagaimana contoh sbb.

205/75 R15 98 H

- 205 = lebar ban (205mm)
- 75 = aspek rasio antara tebal terhadap lebar ban (tebal adalah 75% dari lebar ban)
- R = tipe ban (Radial)
- 15 = diameter rim (15 inch)
- 98 = indeks beban (750 kg)
- H = indeks kecepatan maksimum (210 km/jam)



Gambar 2. Konstruksi ban dan nama komponennya [3]

Konstruksi ban berfungsi untuk menghasilkan performa yang diinginkan berdasarkan kondisi kebutuhan pemakaiannya. Secara umum jenis konstruksi ban terbagi atas dua jenis, yaitu tipe *radial*, merupakan ban yang memiliki lapisan benang-benang yang disusun dalam arah radial, dan tipe *bias*, dengan lapisan benang-benang yang disusun secara bersilangan arah diagonal satu sama lain. Tergantung dari indeks beban dan kecepatan, konstruksi ban dapat tersusun dari beberapa lapisan dengan material penyusun yang berbeda-beda, seperti dapat dilihat pada Gambar 2. Komponen utama dari ban, antara lain: *bead wire*, kabel baja untuk penguat melingkar ban pada daerah velg; *tread*, bagian karet yang berkontak langsung dengan jalan dengan pola tapak tertentu; *sidewall*, lapisan karet samping yang memuat informasi produk dengan penguat radial; *steel belt*, sebagai penguat tapak ban yang terdiri dari beberapa lapisan sesuai kebutuhan.

2.2. Eco-friendly Tyre

Definisi dan karakteristik ban yang ramah lingkungan (*eco-friendly tyre*) mungkin dapat tergantung dari masing-masing produsen. Namun, terdapat garis merah yang membedakan antara ban yang dirancang dengan memperhatikan lingkungan dengan ban konvensional, yaitu:

- Memiliki hambatan gelinding (*rolling resistance*) yang rendah, sehingga memberikan efisiensi penggunaan bahan bakar yang rendah pula
- Memiliki tingkat kebisingan saat jalan (*coast-by noise*) yang rendah, sehingga menurunkan dampak kebisingan pada lingkungan
- Memiliki tingkat keausan yang rendah, sehingga diharapkan umur pakai ban menjadi lebih panjang, dan pemakaian sumber daya alam dan sintetis akan berkurang.

Berkaitan dengan ini, melalui UNECE No. 117.02 [1] negara-negara Eropa mulai menerapkan persyaratan yang ketat dalam aspek hambatan gelinding, kebisingan dan persyaratan tambahan mengenai daya cengkram pada kondisi basah (*wet grip*) yang merupakan persyaratan keselamatan. Regulasi ini sebagai tambahan dari persyaratan produk ban yang telah diterapkan sebelumnya. Khusus untuk aspek kebisingan, aturan UNECE No. 117.02 tersebut mengatur keberlakuan regulasi dalam dua periode transisi, yaitu:

Periode 1 (November 2012 – November 2014)	
Lebar ban (mm)	Batas dB(A)
145 dan lebih kecil	72
Di atas 145 sampai 165	73
Di atas 165 sampai 185	74
Di atas 185 sampai 215	75
Lebih dari 215	76

Periode 2 (November 2016 – November 2018)	
Lebar ban	Batas dB(A)
185 dan lebih kecil	70
Di atas 185 sampai 245	71
Di atas 245 sampai 275	72
Lebih dari 275	74

Persyaratan ini berlaku untuk ban komersial utama, dengan pengecualian antara lain: ban cadangan, ban dengan diameter rim lebih kecil dari 10" atau lebih besar dari 25", ban untuk balap, ban dengan tambahan peningkat traksi, ban kecepatan rendah (speed rating F).

3. Simulasi Numerik Kebisingan

3.1. Mekanisme Kebisingan pada Ban

Kebisingan yang terjadi pada ban saat berjalan di atas lantai, telah diteliti oleh banyak peneliti. Kuijpers [4] menampilkan tinjauan pustaka yang cukup komprehensif mengenai berbagai mekanisme timbulnya kebisingan pada ban. Mekanisme timbulnya kebisingan pada ban saat berjalan di atas jalan, dapat dikategorikan seperti di bawah ini [4]:

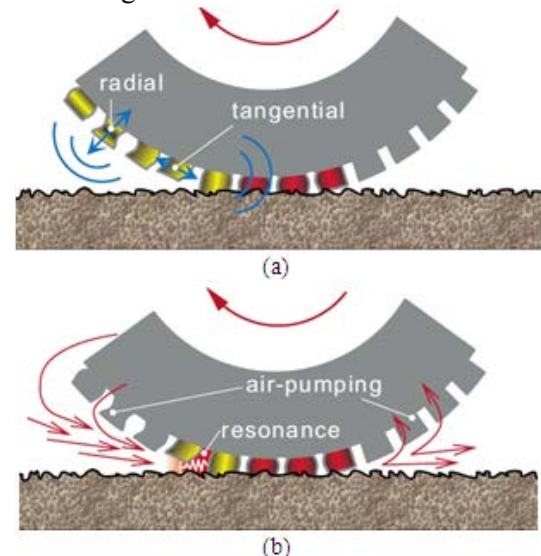
- Mekanikal:
 - Getaran radial dan tangensial,
 - Getaran dinding sisi
 - *Stick-slip*
 - *Adhesion Stick-Snap*
- Aerodinamik:
 - Resonansi udara tertekan di antara celah segmen ban
 - Pemompaan udara
 - Resonansi udara

Ilustrasi mekanisme tersebut di atas dapat dilihat pada Gambar 3. Rongga pada tapak ban dibuat untuk mengalirkan air atau lumpur kontak ban dengan jalan sehingga tidak menimbulkan slip untuk menjamin terjadinya traksi. Ban untuk lumpur dibuat dengan tapak dengan celah yang relatif lebih besar dan

kedalaman yang lebih besar juga untuk mengakomodasi banyaknya lumpur, sementara untuk aplikasi balap di lintasan kering, biasanya dipakai ban tanpa kembangan (*slick tyre*) karena tidak memerlukan celah untuk aliran air. Adanya pola dan celah antara tapak ini, akan menyebabkan impak-jamak setiap kali tepi tapak menyentuh tanah. Dengan banyaknya tapak maka pada kecepatan yang sama, maka akan dihasilkan getaran dengan frekuensi yang lebih tinggi. Mekanisme timbulnya kebisingan tersebut dinamakan mekanisme getaran radial dan tangensial. Dari sumber getaran pada tapak ban tersebut, getaran akan diteruskan pada dinding samping (*sidewall*) yang dapat beresonansi sehingga menaikkan tingkat kebisingan. Mekanisme *stick-slip* sangat terkait dengan gaya tangensial pada permukaan tapak yang tinggi, antara lain saat pengereman, akselerasi, atau saat belokan, sementara mekanisme *adhesion stick-snap* akan signifikan jika terdapat kasus lekatan antara ban dan jalan pada temperatur tinggi.

Selain mekanisme-mekanisme mekanikal, adanya getaran dan gerakan pada udara yang terperangkap dapat menimbulkan kebisingan, yang dinamakan mekanisme aerodinamika, seperti pada Error! Reference source not found.b.

Biasanya, panjang tapak dan jarak pits antar tapak ini divariasikan sehingga tidak menimbulkan resonansi yang dapat menimbulkan amplitudo kebisingan yang tinggi juga. Dengan jarak pits dan urutan yang tepat, kebisingan masing-masing kolom tapak justru dapat menyebabkan anti-resonansi sehingga menurunkan tingkat kebisingan keseluruhan ban.



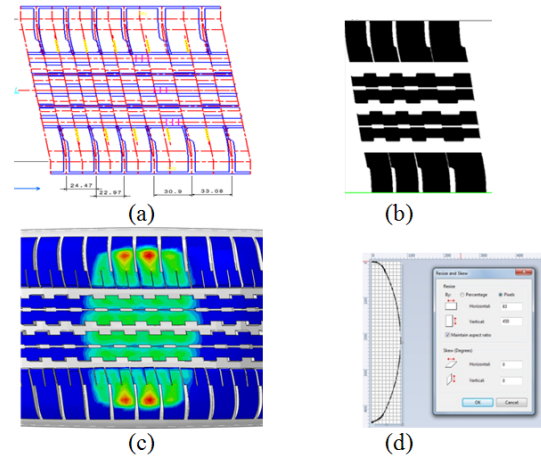
Gambar 3. Mekanisme timbulnya kebisingan pada ban: a) mekanikal, b) aerodinamik [4]

Studi mengenai mekanisme kebisingan pada ban juga telah banyak dilakukan oleh peneliti di seluruh dunia, baik berdasarkan model teoretik, seperti oleh Ammon [5], dan Larsson dan Kropp [6]; simulasi menggunakan metode elemen hingga oleh Rao [7]; maupun empirik oleh Ortiz *et al* [8]. Studi pengaruh jalan terhadap tingkat kebisingan juga dilakukan dan dilaporkan oleh Hanson *et al* [9].

3.2. Simulasi Numerik *SilentRoll*

Untuk keperluan perancangan, simulasi numerik dilakukan untuk memperkirakan tingkat kebisingan pada beberapa rancangan ban dari PT MASA. Simulasi numerik dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak khusus *SilentRoll* [10]. Pertama, simulasi dilakukan dengan memodelkan pola tapak ban secara 2 dimensi yang disederhanakan (Gambar 4a). Tapak akan dimodelkan ke dalam 1 pits dengan asumsi pits tersebut akan berulang (Gambar 4b). Jarak pits maupun ukuran pits bisa berbeda, namun dengan bentuk yang sama. *SilentRoll* menitikberatkan simulasi kebisingan berdasarkan pada mekanisme mekanikal berupa getaran radial dan tangensial akibat hentakan tepi depan (*leading edge*) dan tepi belakang (*trailing edge*) dari tiap-tiap tapak. Oleh karena itu, batas-batas tersebut harus didefinisikan berdasarkan analisis kuasi-statik keseluruhan ban, seperti pada Gambar 4c, sebelum disederhanakan dalam perangkat lunak sebagai kurva (Gambar 4d). Material ban dimodelkan dengan memperhitungkan sifat mekanik material ban yang langsung berkontak dengan jalan, yaitu modulus elastisitas, koefisien damping dan rapat massa material ban. Sementara sifat mekanik carcass di dalam ban tidak diperhitungkan. Dengan urutan yang dimodelkan sesuai rancangan ban, dan dengan masukan kecepatan putar roda yang diubah menjadi kecepatan translasi tapak, kumulatif dampak tepi-tepi tersebut akan tersusun menjadi kebisingan dengan frekuensi dan amplitudo tertentu.

Hasil simulasi akan berupa spektrum tekanan suara maupun tekanan suara keseluruhan dalam dB atau dB(A). *SilentRoll* dilengkapi dengan fitur optimasi, dengan target untuk meminimalkan kebisingan keseluruhan, kebisingan harmonik pertama, atau kebisingan maksimum pada frekuensi tertentu yang dipilih, dengan cara memilih urutan pitch. Dengan hanya memperhatikan kontak tapak ban pada jalan, getaran badan ban sebagai dampak dari kelenturan struktur ban tidak diperhitungkan.



Gambar 4. Pemodelan geometri tapak: a) Gambar teknik rancangan, b) model pitch, c) tepi kontak, d) masukan model tepi kontak

3.3. Studi Kasus

Tujuan simulasi adalah untuk memperoleh model numerik yang dapat mewakili kondisi pengujian lapangan berdasarkan persyaratan regulasi. Untuk itu, hasil simulasi akan dibandingkan dengan hasil pengujian yang telah dilakukan di Belanda. Penyusunan strategi simulasi dimulai dengan memilih tiga tipe ban yang telah diuji lapangan. Gambar 5 menunjukkan ketiga tipe ban yang dimodelkan, dengan informasi produk pada Tabel 1. Ketiga model ban adalah termasuk dalam kategori *Passenger Car Tyre* (PCR), dengan Tipe I adalah model *Achilles ATR Sport* yang mewakili ban dengan profil lebar dan tipis untuk mobil sport, sedangkan kedua tipe lain lebih ditujukan untuk aplikasi mobil niaga/penumpang pada umumnya, dengan ukuran yang relatif berbeda, yaitu dari *Achilles Platinum* dan *Platinum 7*.

Prosedur dalam melakukan simulasi diawali dengan mengumpulkan data. Data-data yang dibutuhkan meliputi data dimensi ban, dimensi dan bentuk tapak ban, material tapak ban, dan kondisi operasi ban. Data dimensi ban meliputi diameter keseluruhan, lebar, dan panjang jejak (*footprint*), sedangkan untuk gambar berupa bentuk tepi depan (*leading edge*) dari ban. Untuk data dimensi dan bentuk tapak ban meliputi jumlah jenis dan jumlah tiap pits, panjang masing-masing pits, kedalaman lubang tapak (*groove*), serta urutan jenis pits sepanjang keliling tapak ban, sedangkan data gambar meliputi bentuk masing-masing pits, dan bentuk lengkungan kedalaman tapak. Data material tapak meliputi nilai modulus young, rasio redaman (*damping ratio*), dan kerapatan material (*density*). Kondisi operasi ban disesuaikan

dengan kondisi operasi saat pengujian yang dijadikan acuan, yaitu saat kecepatan kendaraan 80 km/jam dan pembebanan pada ban 75% dari nilai spesifikasi. Jika semua data telah dikumpulkan, maka simulasi dapat dilakukan. Simulasi dilakukan dengan menggunakan iterasi 50 k ali untuk mendapatkan hasil nilai kebisingan yang konvergen.



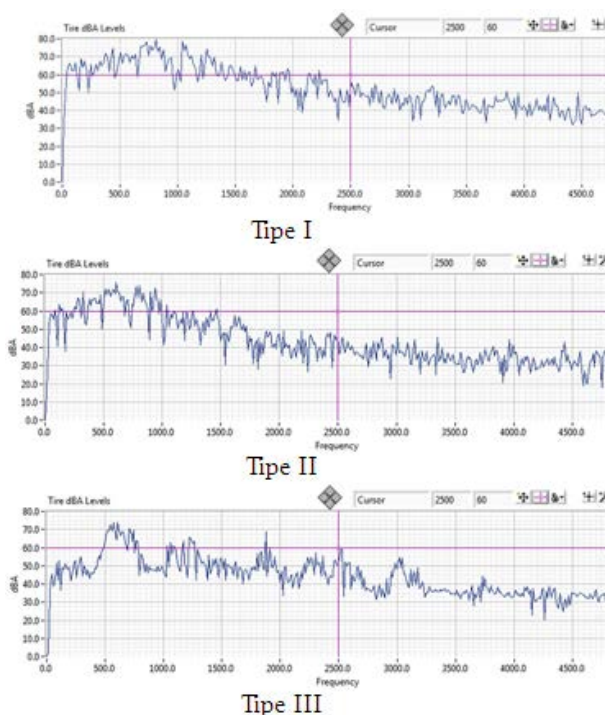
Gambar 6 Tiga produk ban sebagai studi kasus simulasi [3]

Tabel 2. Informasi produk yang disimulasi [3]

Type	I	II	III
Tapak	Simetris	Simetris	Simetris
Ukuran	275/30 ZR20 WXL	225/60 R16 98H	165/65 R13 77H
Type pitch	4	4	5

4. Hasil dan Diskusi

4.1. Simulasi SilentRoll



Gambar 7 Sound pressure spectrum hasil simulasi untuk ketiga tipe ban studi kasus.

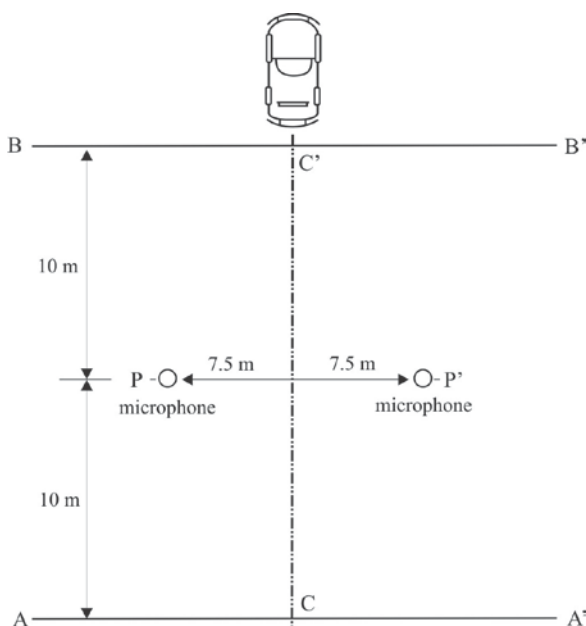
Hasil analisis dari perangkat lunak adalah spektrum tekanan suara yang merupakan superposisi dari berbagai frekuensi penyebab bising pada ban berjalan, seperti pada Gambar 7 untuk ketiga model ban. Dapat dilihat, bahwa kebisingan dengan amplitudo tinggi didominasi oleh getaran pada frekuensi rendah, yaitu di bawah 2000 Hz untuk kecepatan 80 km/jam. Puncak amplitudo tertinggi terjadi pada frekuensi suara sekitar 500 – 1000 Hz. Getaran frekuensi rendah tersebut disebabkan oleh mekanisme mekanik, antara lain dari getaran radial dan *stick-slip*. Sebagai perbandingan, dapat dihitung secara sederhana untuk kasus tipe III, dengan jumlah pits 72, Diameter luar ban 0,677m, kec tangensial 22,22 m/s (80 km/jam), frekuensi kontak antar pits yang menimbulkan getaran radial sebesar 752 Hz. Dapat dilihat pada Gambar 7 Tipe III, frekuensi suara juga terjadi pada sekitar 750 Hz. Dalam kondisi nyata, jarak pits tidak sama, sehingga terjadi pergeseran dari perhitungan tersebut di atas. Lebih lanjut, jarak pits disengaja untuk divariasikan sehingga tidak terjadi resonansi pada frekuensi yang sama, bahkan untuk rancangan yang lebih baik, beberapa kolom pits menghasilkan frekuensi yang saling menghilangkan, sehingga menghasilkan tingkat kebisingan yang lebih rendah.

Berdasarkan *Sound Pressure Spectrum*, *Sound Pressure Level* (SPL) dihitung dengan mengambil nilai terbesar. Angka inilah yang merupakan hasil dari simulasi numerik *SilentRoll* sebagai target perancangan ban yang memperhatikan aspek kebisingan. Untuk ketiga studi kasus, diperoleh SPL (dBA) sebesar, 81,58; 79,14; dan 77,46 untuk Tipe I, II, dan III secara berurutan. Dari hasil pengujian lapangan, diperoleh SPL (dBA) sebesar, 73; 71; dan 69 untuk Tipe I, II, dan III secara berurutan. Di antara ketiga tipe ban yang disimulasi, Tipe I, dengan tapak dan ukuran ban yang relatif lebar (275 mm) menghasilkan kebisingan tertinggi. Sedangkan Tipe III dengan lebar terkecil menghasilkan kebisingan yang rendah juga. Semakin besar area kontak dengan jalan, maka semakin tinggi pula terjadinya kontak mekanik antara ban dan jalan, terutama pada frekuensi rendah. Hal ini sesuai dengan pemahaman awal dan literatur. Sementara sumber getaran yang berasal dari udara di antara rongga-rongga tapak ban menyebabkan getaran pada frekuensi yang lebih tinggi. Untuk getaran frekuensi tinggi ini, amplitudo kebisingan tertinggi kira-kira hanya mencapai 50 dB(A) yang tidak terlalu signifikan.

Perlu diketahui bahwa hasil simulasi dari perangkat lunak adalah kebisingan dari kontak ban-jalan yang

diamati dari jarak 1 m. Sedangkan, berdasarkan standar pengujian lapangan, kebisingan diukur dengan metode *Outdoor Pass-by*, yaitu saat kendaraan melaju pada kecepatan 80 km/jam dan dengan mesin kendaraan dimatikan sesaat. Sensor mikrofon saat pengambilan data berjarak 7,5 meter terhadap garis lintasan kendaraan pada ketinggian 1,2 m eter dari permukaan tanah. Awalnya, nilai kebisingan ban diperoleh dengan melakukan sekali pengujian. Namun, jika hasilnya melebihi batas regulasi, pengujian diulang dan nilai kebisingan diperoleh dari nilai rata-rata dari empat kali pengambilan data kebisingan.

Selain itu, pengujian lapangan dilakukan di luar dengan posisi ban yang bergerak lurus dengan kecepatan konstan, sedangkan kondisi simulasi menggunakan asumsi ban diputar pada poros tetap dan diamati di dalam ruangan. Perbedaan kondisi kedua ini masih dapat ditoleransi, karena kondisi pengujian lapangan dilakukan pada area yang relatif sunyi, sehingga tidak ada interfensi suara selain dari kebisingan ban. Namun, perbedaan kondisi jarak pengamatan tidak dapat diabaikan. Oleh karena itu, hasil simulasi numerik tersebut perlu dikoreksi.



Gambar 8 Skema pengujian kebisingan pada ban di lintasan [1]

4.2. Faktor Koreksi

Dengan perbedaan jarak pengamatan antara simulasi dengan pengujian lapangan, maka diformulasikan faktor koreksi untuk mengakomodasi perbedaan tersebut.

Konsep dasar dari faktor koreksi didapat melalui konsep Level Intensitas Suara (*Sound Intensity Level*). Intensitas merupakan laju rata-rata transfer energi per satuan luas. Konsep ini sebenarnya mirip dengan Level Tekanan Suara (*Sound Pressure Level*), dimana nilai kebisingan dihitung dengan mengasumsikan bahwa kekuatan intensitas suara disebarkan ke segala arah seluas seperempat permukaan bola seperti pada persamaan 1.

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (1)$$

Untuk mengukur efeknya terhadap suara, digunakan pengukuran level intensitas suara (SIL) seperti pada persamaan 2.

$$SIL = 10 \log_{10} \left(\frac{I_2}{I_1} \right) \quad (2)$$

Dari penggabungan persamaan 1 dan 2 dapat dibuat persamaan level intensitas suara yang berhubungan dengan jarak seperti pada persamaan 3.

$$dB(A) = 10 \times \log \left(\left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right) \quad (3)$$

dan dengan mempertimbangkan pengaruh jalan, Hanson [9] memodelkan efek perbedaan jarak terhadap Level Intensitas Suara (SIL) seperti pada persamaan 4.

$$dB(A) = 10 \times \log \left(\left(\frac{r_1}{r_2} \right)^{1+\alpha} \right) \quad (4)$$

Keterangan:

r_1 = jarak pengukuran berdasarkan simulasi (m)

r_2 = jarak pengukuran sebenarnya (m)

α = koefisien penyerapan suara

Koefisien penyerapan suara merupakan koefisien yang menyatakan sifat penyerapan suara dari material permukaan tanah yang berada di sekitar sumber suara. Nilai ini dibuat skala dari 0-1 yang berarti 0 untuk permukaan keras dan 1 untuk permukaan lunak. Berdasarkan standar pengujian kebisingan ban yang dijadikan acuan [1], persyaratan nilai koefisien penyerapan suara dari material permukaan tanahnya adalah $\alpha \leq 0,1$. akan tetapi pada kenyataannya nilai koefisiennya sangat kecil sehingga pada perhitungan nilainya dibuat 0.

Dengan nilai dari r_1 adalah 1 meter, r_2 adalah 6,5 meter (jarak garis lintasan dengan ujung luar ban), dan α bernilai 0, maka dapat dicari nilai selisih kebisingan tersebut, yaitu 8,13 dB A. Nilai ini kemudian menjadi koreksi terhadap nilai kebisingan hasil simulasi yang hasil akhirnya dibandingkan dengan hasil pengujian lapangan, seperti dapat dilihat pada Tabel 2. Setelah penerapan faktor koreksi

tersebut, maka diperoleh tingkat kebisingan yang mendekati hasil pengujian, dengan perbedaan terbesar untuk ketiga tipe studi kasus hanya sebesar 1%, sehingga dapat dikatakan strategi simulasi numerik telah cukup akurat dan dapat dipakai dalam memperkirakan tingkat kebisingan di masa depan.

Dengan strategi simulasi yang akurat, maka proses perancangan untuk keperluan pengembangan produk baru, akan menjadi lebih efisien. Eksplorasi dan evaluasi rancangan dapat dilakukan terlebih dahulu secara numerik. Setelah rancangan dengan perkiraan performa yang telah memenuhi persyaratan diperoleh, maka dapat proses pengembangan produk dapat dilanjutkan ke tahap selanjutnya, yaitu realisasi prototipe.

Tabel 2. Perbandingan nilai kebisingan simulasi dan pengujian

Tipe	Hasil Uji (dBA)	Simulasi (dBA)	Simulasi setelah koreksi (dBA)	Beda (%)
I	73	81,58	73,45	0,616
II	71	79,14	71,01	0,014
III	69	77,46	69,33	1,004

5. Kesimpulan

Sebagai usaha riset dan pengembangan produk ban kendaraan untuk menghadapi tantangan masa depan, simulasi numerik kebisingan pada ban kendaraan sedang berjalan telah dilakukan. Validasi dilakukan terhadap hasil uji lapangan pada tiga tipe ban di fasilitas uji yang sesuai dan disertifikasi oleh UNECE di Eropa. Hasil simulasi telah dikoreksi berdasarkan kondisi pengujian lapangan sehingga mendapatkan hasil yang mendekati hasil uji lapangan, dengan perbedaan maksimum sebesar 1,00%. Dengan hasil sementara, dapat dikatakan strategi simulasi numerik dianggap sudah memadai untuk dipakai sebagai alat evaluasi terhadap rancangan ban dalam proses pengembangan produk baru.

Untuk meningkatkan keyakinan akan akurasi pemodelan, diperlukan lebih banyak studi kasus untuk diuji coba. Seiring dengan pengembangan produk baru dan pengujian lapangan sesuai standar, hasil simulasi akan terus dipantau dan perbaikan strategi

simulasi akan terus dilakukan jika diperlukan.

Dengan simulasi numerik yang akurat, diharapkan proses perancangan akan semakin efisien dan efektif, sehingga *lead time* pengembangan produk baru akan semakin singkat.

6. Daftar Pustaka

- [1] *United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) Regulation No. 117 Revision 2.*
- [2] Iwao, K. & I. Yamazaki, *A study on the mechanism of tire/road noise*, JSAE Review **17**, 1996, p. 139 – 144
- [3] PT Multistrada Arah Sarana, *Achilles Product Catalog 2011*
- [4] Kuijpers, A., Gijsjan van Blokland, *Tyre/road noise models in the last two decades: a critical evaluation*, 2011 Int. Cong. & Exhibition on Noise Control Engineering, The Hague, The Netherlands, 27-30 August 2011
- [5] Ammon, D., *Vehicle dynamics analysis tasks and related tyre simulation challenges*, Vehicle System Dynamics **43**, Supp., 2005, pp 30-47
- [6] Larsson, K., and A. Kropp, *A high-frequency three-dimensional tyre model based on two coupled elastic layers*, J. Sound and Vibration **253**(4), 2002, pp. 889-908
- [7] Rao, N., K. Kumar, Mukhopadhyay and V. K. Misra, *A study of the relationship between Magic Formula coefficients and tyre design attributes through finite element analysis*, Vehicle System Dynamics **44**(1), 2006, pp 33-63
- [8] Ortiz, A., J.A. Cabrera, J. Castillo and ASimón, *Analysis and evaluation of a tyre model through test data obtained using the IMMA tyre test bench*, Vehicle System Dynamics **43**, Supp., 2005, pp 241-252
- [9] Hanson, D.I., R.S. James, C. NeSmith, *Tire/pavement noise study*, National Center for Asphalt Technology, Auburn University, US, 2004.
- [10] SilentRoll User Manual, Quantum Age Tech Solutions, Gujarat, India, 2010