

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA, KERANGKA PEMIKIRAN, DAN HIPOTESIS

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian ini mengkaji pengaruh Indeks Pembangunan Manusia (IPM), Pembentukan Modal Tetap Bruto (PMTB), Teknologi yang diproksikan melalui *Mobile Cellular Subscription*, serta emisi karbon terhadap produktivitas tenaga kerja di Indonesia. Untuk menjelaskan keterkaitan antar variabel tersebut, diperlukan landasan teoritis yang menjelaskan bagaimana kualitas manusia, akumulasi modal fisik, pemanfaatan teknologi, dan aspek lingkungan berperan dalam pembentukan produktivitas.

2.1.1 Produktivitas Tenaga Kerja

2.1.1.1 Definisi Produktivitas

Secara umum, produktivitas merupakan ukuran efisiensi dalam proses produksi yang menunjukkan seberapa besar *output* yang dihasilkan dari sejumlah *input* tertentu. Produktivitas menjadi indikator utama dalam menilai efektivitas kegiatan ekonomi karena mencerminkan kemampuan suatu sistem untuk memanfaatkan sumber daya secara optimal (Zakaria, 2015).

Menurut ILO (2024) produktivitas dapat didefinisikan sebagai rasio antara hasil produksi (*output*) dengan sumber daya yang digunakan (*input*), baik dalam bentuk tenaga kerja, modal, waktu, maupun bahan baku. Produktivitas yang tinggi menunjukkan bahwa proses produksi berjalan lebih efisien, sehingga mampu menghasilkan *output* yang lebih besar tanpa harus menambah *input* secara proporsional.

Dengan demikian, produktivitas bukan hanya persoalan peningkatan hasil, tetapi juga menggambarkan efisiensi dan efektivitas penggunaan sumber daya. Produktivitas menjadi inti dari pertumbuhan ekonomi modern karena setiap peningkatan produktivitas berarti peningkatan kapasitas ekonomi tanpa harus memperbesar jumlah tenaga kerja atau modal yang digunakan. Namun, dalam konteks analisis ketenagakerjaan, produktivitas perlu difokuskan pada kontribusi tenaga kerja sebagai salah satu faktor produksi utama.

2.1.1.2 Definisi Produktivitas Tenaga Kerja

Produktivitas tenaga kerja merupakan bagian khusus dari konsep produktivitas yang menitikberatkan pada kontribusi tenaga kerja dalam menghasilkan barang dan jasa. Indikator ini mengukur seberapa efisien tenaga kerja dimanfaatkan dalam proses produksi dan sejauh mana tenaga kerja berperan dalam menciptakan nilai tambah ekonomi.

Solow (1957) dalam karyanya *Technical Change and the Aggregate Production Function* menjelaskan bahwa produktivitas tenaga kerja berhubungan erat dengan kemajuan teknologi dan efisiensi penggunaan tenaga kerja dalam sistem produksi. Dalam kerangka teori pertumbuhan neoklasik yang dikemukakannya, pertumbuhan ekonomi tidak hanya ditentukan oleh peningkatan jumlah tenaga kerja dan modal, tetapi juga oleh faktor residu yang disebut sebagai *total factor productivity* (TFP), yakni hasil dari inovasi dan kemajuan teknologi. Dengan kata lain, peningkatan produktivitas tenaga kerja dapat menjadi pendorong utama pertumbuhan ekonomi meskipun jumlah tenaga kerja tidak bertambah.

Sementara itu, ILO (2023) mendefinisikan produktivitas tenaga kerja sebagai *output per employed person* atau *output per hour worked*, yang secara umum diukur melalui perbandingan antara Produk Domestik Bruto (PDB) riil dan jumlah tenaga kerja yang bekerja dalam periode tertentu. Pengukuran ini menggambarkan sejauh mana tenaga kerja mampu menghasilkan nilai tambah dalam perekonomian suatu negara atau wilayah.

Produktivitas tenaga kerja yang tinggi menunjukkan kemampuan menghasilkan *output* yang lebih besar dengan jumlah *input* tenaga kerja yang sama, menandakan peningkatan efisiensi, keterampilan, serta dukungan teknologi yang lebih baik. Sebaliknya, produktivitas yang rendah mengindikasikan pemanfaatan tenaga kerja yang belum optimal atau keterbatasan dalam faktor pendukung seperti modal, infrastruktur, dan manajemen produksi.

Dengan demikian, produktivitas tenaga kerja dapat dijadikan sebagai ukuran langsung dari efektivitas sumber daya manusia dalam proses ekonomi. Indikator ini tidak hanya merefleksikan kemampuan tenaga kerja secara individu, tetapi juga mencerminkan sejauh mana kebijakan, investasi, dan teknologi mampu meningkatkan daya saing serta pertumbuhan ekonomi nasional (Takyuddin, 2016). Dalam penelitian ini, produktivitas tenaga kerja diukur berdasarkan PDB riil per jumlah tenaga kerja (*output per worker*) sebagaimana digunakan oleh (ILOSTAT, 2025).

2.1.1.3 Teori Produktivitas Paul Krugman

Menurut Krugman (1990) dalam bukunya yang berjudul “*The Age of Diminished Expectations: U.S. Economic Policy in the 1990s*”, produktivitas

merupakan faktor paling mendasar yang menentukan tingkat kesejahteraan ekonomi suatu negara. Krugman menegaskan bahwa “*productivity isn’t everything, but in the long run it is almost everything*” yang berarti bahwa produktivitas memang bukan satu-satunya faktor yang memengaruhi perekonomian, namun dalam jangka panjang, hampir seluruh keberhasilan ekonomi suatu negara ditentukan oleh tingkat produktivitasnya.

Teori ini berangkat dari pandangan bahwa kemakmuran ekonomi tidak hanya bergantung pada banyaknya sumber daya yang dimiliki suatu negara, tetapi pada seberapa efisien sumber daya tersebut digunakan untuk menghasilkan *output* ekonomi. Dengan kata lain, produktivitas menggambarkan kemampuan tenaga kerja, modal, dan teknologi untuk menghasilkan barang dan jasa secara lebih efektif.

Krugman menjelaskan bahwa peningkatan produktivitas tenaga kerja memiliki peranan strategis dalam menciptakan pertumbuhan ekonomi berkelanjutan. Peningkatan ini dapat dicapai melalui tiga jalur utama, yaitu:

1. Peningkatan kualitas sumber daya manusia, yang ditunjukkan oleh meningkatnya pendidikan dan kesehatan (tercermin dalam Indeks Pembangunan Manusia atau IPM). Tenaga kerja yang sehat dan terdidik memiliki kemampuan lebih tinggi dalam menyerap dan mengaplikasikan pengetahuan, sehingga mampu meningkatkan efisiensi kerja.
2. Investasi modal fisik (PMTB), seperti mesin, peralatan, dan infrastruktur, yang berfungsi mempercepat proses produksi dan mengoptimalkan kapasitas *output*.

3. Pemanfaatan teknologi dan inovasi, termasuk teknologi komunikasi seperti *mobile cellular subscription*, yang mempercepat arus informasi, memperluas jaringan ekonomi, dan meningkatkan koordinasi dalam proses produksi.

Dalam perspektif makroekonomi, Teori Produktivitas Krugman menekankan bahwa peningkatan produktivitas merupakan kunci pertumbuhan ekonomi jangka panjang. Dalam konteks pembangunan, pertumbuhan produktivitas pada tahap awal industrialisasi sering kali diikuti oleh peningkatan penggunaan energi dan emisi karbon. Namun, literatur ekonomi lingkungan menunjukkan bahwa seiring kemajuan teknologi dan peningkatan efisiensi energi, produktivitas yang lebih tinggi dapat mendorong inovasi hijau sehingga berpotensi menekan emisi karbon dalam jangka panjang.

Dengan demikian, teori Paul Krugman menekankan bahwa produktivitas tenaga kerja merupakan inti dari pertumbuhan ekonomi berkelanjutan, di mana peningkatan kualitas manusia, akumulasi modal, dan kemajuan teknologi menjadi faktor penentu utama. Produktivitas yang tinggi tidak hanya mencerminkan efisiensi ekonomi, tetapi juga menjadi dasar bagi peningkatan kesejahteraan masyarakat secara luas.

2.1.1.4 Pengukuran Produktivitas Tenaga Kerja

Ukuran *output* yang umum digunakan dalam menghitung produktivitas tenaga kerja adalah Produk Domestik Bruto pada tingkat nasional. Pengukuran produktivitas tenaga kerja sangat diperlukan karena memberikan gambaran mengenai kondisi dan kemampuan suatu negara dalam merealisasikan tujuan pembangunan bangsa, khususnya dari sisi kapasitas sumber daya manusia. Dengan

mengetahui tingkat produktivitas, pemerintah dapat menyusun kebijakan dan perencanaan program pembangunan yang lebih terarah, terutama pada bidang ketenagakerjaan. Apabila produktivitas tenaga kerja masih rendah, diperlukan peningkatan kompetensi sumber daya manusia melalui pendidikan dan pelatihan, perbaikan tata cara bekerja, serta dukungan kebijakan yang mendorong peningkatan produktivitas. Sebaliknya, jika produktivitas tenaga kerja sudah tinggi, maka perlu dilakukan pemeliharaan agar tingkat produktivitas tidak menurun dan dapat terus meningkat di masa mendatang (Kementerian Ketenagakerjaan RI, 2016)

Pada dasarnya, pengukuran produktivitas tenaga kerja merupakan alat manajemen penting bagi berbagai tingkatan ekonomi, mulai dari level perusahaan hingga level nasional. Namun, dalam konteks makroekonomi, produktivitas tenaga kerja diukur sebagai perbandingan antara total *output* nasional yang direpresentasikan oleh Produk Domestik Bruto (PDB) riil dengan jumlah tenaga kerja yang bekerja dalam proses produksi pada suatu periode tertentu. Pendekatan ini memberikan gambaran agregat mengenai kontribusi rata-rata tenaga kerja terhadap pembentukan *output* nasional.

Secara sistematis, produktivitas dapat dihitung menggunakan rumus yang dikemukakan Isyandi (2004), yaitu:

$$\text{Produktivitas} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}}$$

Dalam konteks makroekonomi, rumus tersebut diterapkan sebagai:

$$\text{Produktivitas tenaga kerja} = \frac{\text{PDB Riil}}{\text{Jumlah Tenaga Kerja Yang Bekerja}}$$

Rumus ini menunjukkan besarnya *output* riil yang dihasilkan oleh satu unit tenaga kerja. Penggunaan PDB riil bertujuan menggambarkan kapasitas produksi yang sebenarnya tanpa dipengaruhi fluktuasi harga, sehingga perhitungan produktivitas lebih mencerminkan kinerja ekonomi secara nyata.

2.1.2 Indeks Pembangunan Manusia (IPM)

2.1.2.1 Pengertian dan Konsep Dasar IPM

Indeks Pembangunan Manusia (IPM) adalah sebuah indeks komposit yang digunakan sebagai indikator untuk menggambarkan perkembangan pembangunan manusia secara terukur dan representatif. IPM pertama kali diperkenalkan oleh *United Nations Development Programme* (UNDP) pada tahun 1990 sebagai alat untuk menilai kualitas hidup penduduk melalui tiga dimensi utama, yaitu kesehatan, pendidikan, dan standar hidup layak. Mahroji et al. (2019) menyatakan bahwa IPM mengukur ketercapaian komponen dasar pembangunan manusia yang berpengaruh terhadap peningkatan produktivitas dan kualitas hidup seseorang.

Ghislandi et al. (2019) menjelaskan bahwa IPM dihitung melalui beberapa indikator, antara lain angka harapan hidup, rata-rata lama sekolah, harapan lama sekolah, serta kemampuan daya beli masyarakat. Kombinasi indikator-indikator tersebut mencerminkan kemajuan suatu wilayah dalam menyediakan kehidupan yang lebih baik bagi penduduknya.

2.1.2.2 Teori Modal Manusia (*Human Capital Theory*)

Teori *Human Capital* yang diperkenalkan oleh Becker (1964), menjelaskan bahwa manusia merupakan aset atau modal yang memiliki nilai ekonomi. Dalam pengertian sederhana, *human capital* terdiri atas dua unsur utama, yaitu manusia

dan modal. Modal dipahami sebagai faktor produksi yang digunakan untuk menghasilkan barang dan jasa tanpa berkurang jumlahnya dalam proses produksi.

Berdasarkan pemahaman tersebut, manusia dipandang sebagai bentuk modal yang dapat meningkatkan *output* melalui pengetahuan, keterampilan, dan kemampuan yang dimilikinya. Dalam perkembangannya, konsep *human capital* dapat dijelaskan melalui tiga bagian utama.

1. Modal manusia dipahami sebagai kapasitas yang dimiliki individu, seperti pengetahuan, keterampilan, kesehatan, dan berbagai karakteristik lain yang menentukan kontribusinya dalam proses produksi.
2. Pengetahuan dan keterampilan tersebut diperoleh melalui berbagai proses pembelajaran, baik pendidikan formal maupun nonformal, pelatihan, kursus, serta pengalaman kerja. Ritonga (2019) menegaskan bahwa *human capital* terbentuk melalui akumulasi dari proses peningkatan kemampuan yang dilakukan secara berkelanjutan.
3. *Human capital* merupakan kombinasi menyeluruh dari pendidikan, pengalaman, pelatihan, keterampilan, kebiasaan kerja, kesehatan, energi, dan inisiatif individu yang semuanya berperan dalam meningkatkan produktivitas. Ritonga (2019) menyebutkan bahwa peningkatan *human capital* dapat dilakukan melalui dua cara, yaitu secara kuantitatif dan kualitatif. Secara kuantitatif, produktivitas meningkat seiring bertambahnya jumlah tenaga kerja yang tersedia. Secara kualitatif, peningkatan produktivitas dicapai melalui investasi pada sumber daya manusia, antara lain melalui pendidikan, pelatihan,

peningkatan kesehatan, serta pembangunan kemampuan individu yang lebih baik.

Teori ini menegaskan bahwa investasi pada manusia, baik melalui pendidikan maupun kesehatan, menjadi faktor penting dalam meningkatkan produktivitas tenaga kerja. Dengan demikian, teori *Human Capital* memiliki keterkaitan langsung dengan variabel Indeks Pembangunan Manusia (IPM), karena IPM mengukur kualitas sumber daya manusia yang pada akhirnya mempengaruhi tingkat produktivitas suatu wilayah.

2.1.2.3 Pengukuran Indeks Pembangunan Manusia (IPM)

Menurut United Nations Development Programme (UNDP Indonesia), indikator-indikator yang digunakan untuk mengukur dimensi Indeks Pembangunan Manusia (IPM) meliputi tiga aspek utama.

1. *Longevity* yang diukur melalui harapan hidup saat lahir (*life expectancy of birth*) dan angka kematian bayi per seribu penduduk.
2. *Educational achievement* yang dilihat dari tingkat melek huruf penduduk usia 15 tahun ke atas (*adult literacy rate*) serta rata-rata lama sekolah bagi penduduk usia 25 tahun ke atas (*mean years of schooling*).
3. *Access to resources* yang dihitung secara makro melalui PDB riil per kapita berdasarkan konsep *purchasing power parity* (PPP) dalam dolar AS dan dapat dilengkapi dengan data tingkat partisipasi angkatan kerja.

Secara keseluruhan, ketiga dimensi tersebut mencerminkan bahwa pembangunan manusia tidak hanya bergantung pada pertumbuhan ekonomi semata, tetapi juga pada peningkatan kualitas hidup melalui kesehatan yang baik,

pendidikan yang memadai, dan akses ekonomi yang merata. Dengan demikian, teori *Human Capital* memberikan dasar teoritis yang kuat untuk menjelaskan hubungan antara peningkatan kualitas manusia dan produktivitas tenaga kerja.

2.1.2.4 Perkembangan Metodologi Indeks Pembangunan Manusia (IPM)

Untuk memahami bagaimana konsep pembangunan manusia tersebut dioperasionalkan secara empiris, penting untuk melihat perkembangan metodologi pengukuran Indeks Pembangunan Manusia (IPM). Indeks Pembangunan Manusia (IPM) pertama kali diperkenalkan oleh United Nations Development Programme (UNDP) pada tahun 1990 sebagai indikator komposit untuk menilai kualitas pembangunan manusia secara menyeluruh. IPM menempatkan manusia sebagai pusat pembangunan dengan tujuan utama menciptakan lingkungan yang memungkinkan setiap individu menikmati umur panjang, hidup sehat, berpengetahuan, dan memiliki standar hidup yang layak.

Dalam penerapan awal, baik oleh Nations Development Programme (UNDP) maupun Badan Pusat Statistik (BPS) di Indonesia, IPM dihitung berdasarkan tiga dimensi utama, yaitu:

1. Kesehatan, yang diukur melalui Angka Harapan Hidup saat Lahir (AHH).
2. Pengetahuan, yang mencakup Angka Melek Huruf (AMH) serta Kombinasi Angka Partisipasi Kasar (APK) untuk UNDP, sedangkan di Indonesia digantikan oleh Rata-rata Lama Sekolah (RLS).
3. Standar Hidup Layak, yang menggunakan Produk Domestik Bruto (PDB) per kapita untuk UNDP, dan pengeluaran per kapita yang disesuaikan (Rp) untuk BPS.

Ketiga dimensi tersebut kemudian digabungkan menggunakan rata-rata aritmatika, dengan rumus:

$$IPM = \frac{1}{3} (I_{kesehatan} + I_{pendidikan} + I_{pengeluaran}) \times 100$$

Rumus ini menunjukkan bahwa setiap dimensi pembangunan manusia diberi bobot yang sama besar, namun metode ini memiliki kelemahan karena capaian tinggi di satu dimensi dapat menutupi capaian rendah di dimensi lainnya.

Seiring berjalannya waktu, sejumlah indikator dan metode penghitungan dinilai tidak lagi mampu menggambarkan kondisi pembangunan manusia secara akurat dan relevan. Menurut BPS (2014) perubahan dilakukan atas beberapa dasar utama:

1. Ketidaktepatan indikator lama. Indikator angka melek huruf (AMH) tidak lagi mampu mencerminkan kualitas pendidikan secara menyeluruh. Sebagian besar wilayah di Indonesia telah memiliki tingkat melek huruf yang sangat tinggi, sehingga indikator ini tidak lagi mampu membedakan capaian pendidikan antar daerah. Oleh karena itu, UNDP menggantinya dengan dua indikator baru, yaitu Harapan Lama Sekolah (HLS) dan Rata-rata Lama Sekolah (RLS).
2. Indikator ekonomi yang lebih representatif. Produk Domestik Bruto (PDB) per kapita dinilai tidak sepenuhnya menggambarkan tingkat kesejahteraan masyarakat karena tidak memperhitungkan pendapatan warga negara di luar negeri. Untuk itu,

UNDP menggantinya dengan Produk Nasional Bruto (PNB) per kapita yang lebih merefleksikan pendapatan riil penduduk.

3. Perubahan metode agregasi. Pada tahun 2010, UNDP memperkenalkan pendekatan baru dengan menggunakan rata-rata geometrik dalam penggabungan tiga dimensi IPM. Pendekatan ini kemudian diadopsi oleh BPS secara bertahap sejak tahun 2011 dan diterapkan secara penuh pada tahun 2014.

Penggunaan rata-rata geometrik dimaksudkan agar capaian rendah di satu dimensi tidak bisa dikompensasi oleh capaian tinggi di dimensi lain, sehingga pembangunan manusia diharapkan lebih seimbang dan adil antar dimensi.

2.1.2.5 Metodologi Baru Indeks Pembangunan Manusia (IPM)

Setelah terjadinya perubahan metodologi sebagaimana dijelaskan sebelumnya, Badan Pusat Statistik (BPS) kemudian menetapkan formula baru dalam penghitungan Indeks Pembangunan Manusia. Metodologi baru ini berpedoman pada pendekatan tiga dimensi dasar sebagaimana ditetapkan UNDP (2010), yaitu umur panjang dan hidup sehat, pengetahuan, serta standar hidup layak. Berikut ini dijelaskan komponen dan tahapan perhitungan IPM berdasarkan metode terbaru tersebut.

Menurut BPS (2016) Indeks Pembangunan Manusia (IPM) disusun melalui pendekatan tiga dimensi dasar, yaitu umur panjang dan hidup sehat, pengetahuan, serta standar hidup layak. Dimensi kesehatan diukur menggunakan indikator angka harapan hidup pada saat lahir. Sementara itu, dimensi pendidikan diperoleh melalui

indikator harapan lama sekolah yang menggambarkan potensi pendidikan yang dapat dicapai penduduk. Adapun dimensi pengeluaran dihitung berdasarkan kemampuan daya beli masyarakat terhadap kebutuhan dasar, yang direpresentasikan melalui rata-rata Produk Nasional Bruto (PNB) per kapita.

Sebelum digabungkan menjadi satu nilai IPM, masing-masing dimensi tersebut terlebih dahulu dinormalisasi menggunakan nilai minimum dan maksimum yang telah ditetapkan. Selanjutnya, nilai IPM dihitung menggunakan rata-rata geometrik dari ketiga dimensi utama, dengan rumus sebagai berikut:

$$IPM = \sqrt[3]{I_{\text{kesehatan}} \times I_{\text{pendidikan}} \times I_{\text{pengeluaran}}} \times 100$$

Keterangan:

- $I_{\text{kesehatan}}$: Indeks kesehatan (diukur dari harapan hidup saat lahir)
- $I_{\text{pendidikan}}$: Indeks pendidikan (gabungan dari Harapan Lama Sekolah dan Rata-rata Lama Sekolah)
- $I_{\text{pengeluaran}}$: Indeks pengeluaran (diukur dari pengeluaran per kapita yang disesuaikan)

Setelah ketiga dimensi dasar dihitung dan digabungkan, nilai Indeks Pembangunan Manusia kemudian ditafsirkan berdasarkan kategori tertentu untuk melihat tingkat pencapaian pembangunan manusia pada suatu wilayah. Menurut Perserikatan Bangsa - Bangsa (PBB) dalam Saputra (2011), peringkat kinerja pembangunan manusia dinyatakan dalam skala 0,0 hingga 100 dengan empat kategori sebagai berikut:

1. IPM dengan nilai $> 80,0$: Kategori tinggi.
2. IPM pada rentang 66,0–79,9: Kategori menengah atas.
3. IPM dengan skor 50,0–65,9: Kategori menengah bawah.
4. IPM dengan nilai $< 50,0$: Kategori rendah.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa Indeks Pembangunan Manusia (IPM) tidak hanya berfungsi sebagai indikator kesejahteraan sosial, tetapi juga mencerminkan kualitas sumber daya manusia yang menjadi modal utama dalam proses pembangunan ekonomi. Oleh karena itu, peningkatan IPM diharapkan mampu mendorong produktivitas tenaga kerja dan mempercepat pertumbuhan ekonomi di suatu wilayah.

2.1.3 Pembentukan Modal Tetap Bruto (PMTB)

2.1.3.1 Pengertian dan Konsep Dasar Pembentukan Modal Tetap Bruto (PMTB)

Menurut BPS (2022), Pembentukan Modal Tetap Bruto (PMTB) merupakan seluruh pengeluaran yang digunakan untuk memperoleh barang-barang modal yang memiliki masa pakai lebih dari satu tahun dan tidak termasuk dalam kategori barang konsumsi. Barang-barang modal tersebut meliputi pembangunan bangunan tempat tinggal maupun non-tempat tinggal, infrastruktur seperti jalan, jembatan, dan bandara, serta berbagai jenis mesin dan peralatan yang digunakan dalam kegiatan produksi.

Selaras dengan hal tersebut, Mankiw (2018) menjelaskan bahwa PMTB pada dasarnya mencerminkan investasi dalam bentuk modal fisik, yaitu seluruh pengeluaran yang ditujukan untuk menciptakan aset tetap baru atau menambah

kapasitas dari barang modal yang telah ada. Dengan demikian, PMTB tidak hanya menunjukkan tingkat investasi suatu perekonomian, tetapi juga menjadi indikator penting dalam menilai kemampuan suatu negara dalam memperluas kapasitas produksinya di masa mendatang.

2.1.3.2 Peran PMTB dalam Pertumbuhan Ekonomi

Pembentukan modal memiliki peran yang sangat strategis dalam mendorong pertumbuhan ekonomi, karena peningkatan investasi pada barang-barang modal secara langsung akan menambah stok modal yang digunakan untuk menunjang kegiatan produksi (Amri & Aimon, 2017). Investasi fisik yang tercermin dalam Pembentukan Modal Tetap Bruto (PMTB) berkontribusi terhadap penambahan aset produktif baru, yang pada gilirannya meningkatkan kapasitas dan efisiensi produksi suatu negara.

Peningkatan PMTB dapat diwujudkan melalui pembangunan infrastruktur publik seperti jalan, pelabuhan, dan bandara yang dibiayai oleh pemerintah, maupun melalui investasi sektor swasta dalam bentuk pembangunan pabrik, pembelian mesin, serta pengadaan peralatan produksi. Kombinasi antara investasi publik dan swasta tersebut akan memperkuat fondasi ekonomi nasional dengan menciptakan efek berganda (*multiplier effect*) terhadap kegiatan ekonomi lainnya, seperti peningkatan kesempatan kerja, penyerapan tenaga kerja, serta pertumbuhan sektor industri dan jasa. Dengan demikian, pembentukan modal yang efektif tidak hanya memperbesar kapasitas produksi, tetapi juga menjadi pendorong utama bagi peningkatan produktivitas dan pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan.

2.1.3.3 Teori Pertumbuhan Solow dan Kaitannya dengan PMTB

Menurut Todaro & Smith (2003), pertumbuhan ekonomi dipengaruhi oleh tiga faktor utama, yaitu akumulasi modal, pertumbuhan jumlah penduduk, dan kemajuan teknologi.

1. Akumulasi modal, mencakup seluruh bentuk investasi baru pada aset produktif seperti tanah, peralatan fisik, infrastruktur, dan sumber daya manusia. Akumulasi modal ini berfungsi menambah kapasitas produksi dan mendorong peningkatan efisiensi ekonomi.
2. Pertumbuhan jumlah penduduk akan memperluas ketersediaan tenaga kerja, yang pada gilirannya dapat meningkatkan *output* nasional apabila disertai dengan peningkatan kualitas sumber daya manusia.
3. Kemajuan teknologi, berperan penting dalam menciptakan inovasi serta memperbaiki metode produksi yang sudah ada, sehingga proses produksi dapat dilakukan dengan lebih cepat, efisien, dan berdaya saing tinggi.

Sejalan dengan pandangan tersebut, teori pertumbuhan ekonomi yang dikemukakan oleh Solow (1956) melalui model *neoclassical growth model* memperkuat keterkaitan antara akumulasi modal, pertumbuhan tenaga kerja, dan kemajuan teknologi dalam menentukan tingkat pertumbuhan ekonomi suatu negara. Model Solow menjelaskan bahwa pertumbuhan ekonomi dan produktivitas tenaga kerja dipengaruhi oleh tiga variabel utama, yaitu modal fisik, tenaga kerja, dan kemajuan teknologi.

Dalam kerangka teori ini, peningkatan produktivitas tenaga kerja dapat terjadi melalui proses *capital deepening*, yaitu peningkatan jumlah modal yang digunakan

oleh setiap pekerja. Ketika Pembentukan Modal Tetap Bruto (PMTB) meningkat, maka ketersediaan mesin, infrastruktur, dan peralatan yang digunakan tenaga kerja juga bertambah, sehingga setiap pekerja mampu menghasilkan *output* yang lebih besar. Dengan kata lain, peningkatan PMTB akan memperkuat hubungan antara akumulasi modal dan peningkatan efisiensi tenaga kerja dalam proses produksi.

Lebih lanjut, dalam jangka panjang, produktivitas tenaga kerja tidak hanya ditentukan oleh akumulasi modal fisik, tetapi juga oleh kemajuan teknologi yang bersifat eksogen dalam model Solow. Kemajuan teknologi memungkinkan peningkatan *output* meskipun jumlah tenaga kerja dan modal relatif tetap. Namun demikian, akumulasi modal tetap menjadi prasyarat utama yang memungkinkan terciptanya peningkatan efisiensi, produktivitas, dan pertumbuhan ekonomi berkelanjutan (Mankiw, 2018).

2.1.3.4 Perhitungan Pembentukan Modal Tetap Bruto (PMTB)

Menurut BPS (2023) estimasi nilai Pembentukan Modal Tetap Bruto (PMTB) dapat dilakukan dengan dua pendekatan utama, yaitu pendekatan langsung dan pendekatan tidak langsung.

1. Pendekatan langsung

Dilakukan dengan cara menghitung secara langsung nilai pembentukan aset tetap oleh masing-masing sektor ekonomi. Dalam pendekatan ini, setiap sektor usaha seperti pertanian, industri, jasa, dan konstruksi melakukan penilaian terhadap nilai investasi yang dikeluarkan untuk memperoleh atau menambah aset tetap, seperti mesin, peralatan, bangunan, infrastruktur, maupun sarana produksi lainnya. Data yang digunakan dalam metode ini umumnya bersumber

dari laporan keuangan perusahaan, catatan proyek pemerintah, serta hasil survei investasi. Dengan demikian, metode ini memberikan gambaran konkret mengenai besarnya pengeluaran investasi aktual di setiap sektor ekonomi.

2. Pendekatan tidak langsung,

Dikenal dengan sebutan pendekatan arus komoditi (*commodity flow approach*), menghitung PMTB berdasarkan aliran barang dan jasa yang digunakan sebagai barang modal di berbagai sektor produksi. Pendekatan ini memperhitungkan seluruh penyediaan barang modal, baik yang diproduksi di dalam negeri maupun yang berasal dari impor, kemudian dikurangi dengan barang modal yang diekspor atau digunakan untuk keperluan konsumsi jangka pendek. Melalui pendekatan ini, diperoleh estimasi mengenai seberapa besar nilai barang modal yang benar-benar menambah stok modal tetap suatu negara.

Metode arus komoditi banyak digunakan dalam sistem perhitungan nasional karena dinilai lebih komprehensif dan sesuai dengan standar internasional yang diatur dalam *System of National Accounts* (SNA) 2008 oleh Perserikatan Bangsa - Bangsa (PBB). BPS mengadopsi pendekatan ini untuk memastikan bahwa nilai PMTB yang dihasilkan mencerminkan seluruh aktivitas ekonomi yang berkaitan dengan investasi fisik, baik dari sektor publik maupun swasta.

Secara konseptual, PMTB juga merupakan salah satu komponen penting dalam perhitungan Produk Domestik Bruto (PDB) melalui pendekatan pengeluaran. Dalam kerangka tersebut, PMTB termasuk dalam kategori investasi yang mencerminkan seluruh pengeluaran yang digunakan untuk pembentukan aset tetap baru atau peningkatan kapasitas produksi di berbagai sektor ekonomi. Oleh

karena itu, peningkatan nilai PMTB menunjukkan adanya ekspansi kegiatan ekonomi yang produktif, yang pada akhirnya dapat mendorong pertumbuhan ekonomi nasional secara berkelanjutan.

2.1.4 Teknologi Seluler (*Mobile Cellular Subscription*)

2.1.4.1 Definisi dan Konsep Dasar *Mobile Cellular Subscription*

Menurut United Nations (2005) pelanggan telepon seluler merujuk pada individu yang menggunakan perangkat telepon portabel dan berlangganan layanan telepon seluler publik otomatis. Layanan ini memanfaatkan teknologi seluler yang memungkinkan pengguna terhubung dengan jaringan telepon tetap *Public Switched Telephone Network* (PSTN). Definisi tersebut mencakup pelanggan dengan skema pembayaran pasca bayar maupun Prabayar.

Sementara itu, ITU (2017) mendefinisikan pengguna telepon seluler sebagai jumlah langganan pada layanan seluler publik yang memberikan akses ke jaringan telepon umum melalui teknologi seluler. Dalam definisi ini, langganan mencakup akun pasca bayar dan akun Prabayar aktif, yaitu akun yang digunakan dalam tiga bulan terakhir. International Telecommunication Union (ITU) menegaskan bahwa definisi tersebut hanya mencakup langganan yang menyediakan layanan komunikasi suara, sehingga tidak termasuk kartu data, modem USB, layanan data seluler publik, radio seluler pribadi, *telepoint*, *paging* radio, maupun layanan *machine to machine* (M2M) dan telemetri.

Jumlah pelanggan atau langganan layanan seluler di suatu negara kemudian dikenal sebagai *Mobile Cellular Subscription*, yang mencakup seluruh jenis teknologi dan skema langganan seluler, baik Prabayar maupun pasca bayar.

Tingginya nilai *Mobile Cellular Subscription* menunjukkan tingkat penggunaan layanan seluler dalam masyarakat dan menggambarkan potensi besar dalam adopsi layanan digital, termasuk layanan keuangan berbasis seluler yang dapat memperkuat inklusi keuangan. Variabel ini umum dinyatakan dalam satuan per 100 penduduk untuk menampilkan tingkat ketercakupan layanan seluler dalam suatu populasi.

2.1.4.2 Teori Difusi Inovasi (*Diffusion of Innovation Theory*)

Teori Difusi Inovasi yang dikemukakan oleh Rogers (1995) menjelaskan proses bagaimana sebuah inovasi, termasuk teknologi seluler, diperkenalkan dan diadopsi oleh masyarakat secara bertahap hingga akhirnya menjadi bagian dari kehidupan sehari-hari. Menurut Rogers, difusi merupakan proses penyebaran inovasi melalui saluran komunikasi tertentu dalam jangka waktu tertentu di antara anggota suatu sistem sosial. Dengan demikian, tingkat penerimaan dan penggunaan teknologi baru tidak terjadi secara serentak, tetapi melalui tahapan yang dipengaruhi oleh faktor sosial, ekonomi, budaya, dan psikologis individu.

Menurut teori ini, adopsi inovasi berlangsung melalui lima tahapan utama, yaitu pengetahuan (*knowledge*), persuasi (*persuasion*), keputusan (*decision*), implementasi (*implementation*), dan konfirmasi (*confirmation*). Dalam konteks teknologi seluler, masyarakat pertama-tama mengenal keberadaan layanan seluler, kemudian menilai manfaatnya, memutuskan untuk berlangganan, menggunakannya secara aktif, dan akhirnya mengonfirmasi keputusannya berdasarkan pengalaman penggunaan (Li & Luximon, 2018; Rogers et al., 2003).

Dalam konteks teknologi seluler (*mobile cellular subscription*), teori ini memberikan penjelasan yang komprehensif mengenai dinamika penyebaran dan penggunaan layanan seluler di masyarakat. Peningkatan jumlah pelanggan seluler mencerminkan keberhasilan proses difusi inovasi, di mana teknologi komunikasi nirkabel telah diterima secara luas dan dianggap bermanfaat bagi kehidupan ekonomi maupun sosial. Semakin tinggi tingkat penggunaan layanan seluler dalam suatu negara, semakin matang pula tahap adopsi inovasi yang dicapai oleh masyarakatnya.

Lebih jauh, difusi teknologi seluler memiliki implikasi penting terhadap produktivitas tenaga kerja, pertumbuhan ekonomi, dan pembangunan manusia. Akses komunikasi yang lebih luas memungkinkan arus informasi dan transaksi ekonomi berjalan lebih efisien, mempercepat penyebaran pengetahuan, serta meningkatkan peluang partisipasi ekonomi, terutama di wilayah pedesaan. Oleh karena itu, teori difusi inovasi memberikan dasar konseptual bahwa peningkatan *mobile cellular subscription* bukan hanya fenomena teknologi, tetapi juga indikator kemajuan sosial dan ekonomi suatu negara.

2.1.4.3 Pengukuran Teknologi Seluler (*Mobile Cellular Subscription*)

Secara metodologis, data *mobile cellular subscriptions* biasanya diperoleh melalui laporan resmi dari operator telekomunikasi, regulator nasional, atau kementerian yang membidangi telekomunikasi. ITU melakukan konsolidasi data tersebut secara tahunan melalui *World Telecommunication/ICT Indicators Database*. Dalam beberapa kasus, operator dapat memiliki perbedaan definisi mengenai “akun aktif,” sehingga ITU dan lembaga statistik nasional perlu

melakukan penyesuaian atau memberikan catatan metodologis agar perbandingan antarnegara tetap konsisten.

Indikator *Mobile Cellular Subscriptions* (per 100 *people*) dihitung dengan membagi total langganan seluler yang memenuhi definisi tersebut dengan jumlah populasi suatu negara pada tahun yang bersangkutan, lalu dikalikan 100. Rumusnya adalah:

$$\text{Mobile Cellular Subscriptions per 100 people} = \left(\frac{\text{Total Subscriptions}}{\text{Total Population}} \right) \times 100$$

Penggunaan satuan per 100 penduduk dimaksudkan untuk menggambarkan tingkat penggunaan atau ketercakupan layanan seluler dalam populasi. Nilai indikator dapat melebihi 100 karena satu individu dapat memiliki lebih dari satu langganan seluler, terutama di negara-negara dengan tingkat adopsi teknologi yang tinggi atau pasar telekomunikasi yang sangat kompetitif.

Dalam konteks pembangunan ekonomi, indikator ini memiliki relevansi penting. Infrastruktur telekomunikasi, termasuk layanan seluler, merupakan salah satu faktor yang memengaruhi keputusan investasi, baik domestik maupun asing. Pertumbuhan penggunaan seluler juga berperan dalam memperluas akses masyarakat terhadap layanan digital, termasuk layanan keuangan berbasis seluler, yang pada akhirnya dapat meningkatkan inklusi keuangan. Akses telekomunikasi yang luas, khususnya di wilayah pedesaan, memungkinkan komunikasi yang lebih efisien, memperkuat aktivitas ekonomi lokal, serta mempercepat integrasi wilayah terpencil ke dalam sistem ekonomi nasional yang lebih modern. Selain itu, perkembangan teknologi jaringan seperti 3G, 4G, dan kini 5G, telah mempercepat pertumbuhan jumlah pelanggan seluler secara signifikan. Dengan demikian, *mobile*

cellular subscriptions dianggap sebagai salah satu indikator paling representatif dalam menggambarkan kemajuan akses masyarakat terhadap teknologi komunikasi modern serta kesiapan suatu negara menuju ekonomi digital (ITU, 2023).

2.1.5 Emisi Karbon Per Kapita (CO₂)

2.1.5.1 Konsep dan Definisi Emisi Karbon

Emisi karbon merupakan proses pelepasan unsur karbon ke atmosfer yang umumnya terjadi akibat aktivitas pembakaran bahan yang mengandung senyawa karbon. Emisi ini terutama berupa karbon dioksida (CO₂), yaitu gas hasil dari proses oksidasi karbon selama pembakaran bahan bakar fosil maupun biomassa. Gas karbon dioksida menjadi komponen utama penyumbang efek rumah kaca yang berkontribusi terhadap pemanasan global menurut Trenberth, 2003 dalam (Linggasari, 2015).

Secara umum, sumber utama emisi karbon berasal dari aktivitas manusia yang menggunakan energi berbasis karbon, seperti pembakaran bensin, solar, kayu bakar, gas LPG, dan berbagai bahan bakar lain yang mengandung hidrokarbon. Sektor industri dan energi menjadi kontributor terbesar terhadap peningkatan emisi karbon dioksida. Penggunaan bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan batu bara dalam proses produksi industri menyebabkan akumulasi gas rumah kaca di atmosfer, sehingga mempercepat laju perubahan iklim (Stolyarova, 2013). Selain itu, sektor transportasi juga berperan signifikan dalam peningkatan emisi, karena tingginya ketergantungan kendaraan bermotor terhadap bahan bakar berbasis minyak bumi (Kemntrian Lingkungan Hidup, 2012).

Dalam perspektif ekonomi lingkungan, Rahayu & Hidayah (2023) menekankan bahwa emisi karbon tidak dapat dipandang semata sebagai persoalan ekologis, melainkan juga sebagai isu sosial dan ekonomi yang berdampak luas terhadap kesejahteraan masyarakat. Stern (2006) menyoroti bahwa emisi karbon merupakan bentuk biaya eksternalitas negatif (*negative externality*), yaitu biaya sosial yang timbul akibat aktivitas ekonomi yang tidak memperhitungkan kerusakan ekologis yang ditimbulkannya. Dengan demikian, emisi karbon dapat dipandang sebagai konsekuensi dari aktivitas pembangunan yang belum sepenuhnya berorientasi pada prinsip keberlanjutan, dan penanganannya memerlukan kebijakan terpadu antara aspek ekonomi, sosial, serta lingkungan.

2.1.5.2 Teori Modal Kesehatan (*Health Capital Theory*)

Teori Modal Kesehatan (*Health Capital Theory*) pertama kali diperkenalkan oleh Grossman (1972), yang memandang kesehatan sebagai bentuk modal yang melekat pada individu. Dalam kerangka ini, kesehatan tidak hanya dipahami sebagai hasil pembangunan, tetapi juga sebagai faktor produksi yang memengaruhi kemampuan kerja, efisiensi, dan produktivitas tenaga kerja.

Penelitian terbaru oleh Meno et al. (2025), mengonfirmasi relevansi teori ini dengan menunjukkan bahwa peningkatan investasi pada sektor kesehatan publik mampu memperkuat stok modal kesehatan dan mendorong produktivitas nasional. Temuan tersebut menegaskan bahwa kesehatan berperan bukan hanya sebagai hasil pembangunan, tetapi juga sebagai faktor produksi yang secara langsung meningkatkan efisiensi dan kemampuan kerja seseorang. Semakin baik kondisi

kesehatan individu, semakin tinggi pula kapasitasnya untuk bekerja secara produktif, baik dari segi durasi kerja maupun kualitas *output* yang dihasilkan.

Dalam konteks emisi karbon, teori modal kesehatan memberikan kerangka berpikir yang jelas mengenai bagaimana lingkungan yang tercemar menjadi sumber kerugian ekonomi karena menurunkan kualitas kesehatan masyarakat. Paparan polusi udara akibat peningkatan konsentrasi CO₂ dan partikel berbahaya berdampak pada meningkatnya penyakit pernapasan, penyakit kardiovaskular, dan berbagai gangguan kesehatan lain. Dampak kesehatan tersebut secara langsung menurunkan kemampuan tenaga kerja untuk berproduksi, meningkatkan ketidakhadiran (*absenteisme*), dan menambah biaya kesehatan yang harus ditanggung rumah tangga maupun pemerintah.

Dalam kerangka Grossman, kesehatan dipandang sebagai *health capital* yang dapat terdepresiasi dari waktu ke waktu. Literatur empiris terbaru menunjukkan bahwa polusi dan emisi karbon merupakan bentuk depresiasi modal kesehatan tersebut. Emisi CO₂ terbukti menurunkan harapan hidup dan kualitas kesehatan masyarakat, sebagaimana ditunjukkan oleh temuan bahwa emisi CO₂ berdampak negatif terhadap *life expectancy* (Das & Debanth, 2023). Konsekuensinya, produktivitas tenaga kerja akan mengalami penurunan melalui berbagai mekanisme, seperti:

1. Menurunnya kapasitas fisik pekerja, karena kondisi kesehatan yang memburuk akibat paparan polusi jangka panjang.
2. Berkurangnya jam kerja efektif karena pekerja lebih sering mengalami sakit atau membutuhkan waktu pemulihan yang lebih panjang.

3. Peningkatan beban biaya kesehatan, yang dapat mengurangi kesejahteraan dan kemampuan pekerja untuk berinvestasi pada peningkatan keterampilan.
4. Menurunnya kualitas tenaga kerja dalam jangka panjang, terutama jika polusi udara memengaruhi kualitas kesehatan anak-anak yang merupakan calon tenaga kerja masa depan.

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa polusi udara tidak hanya berdampak pada kesehatan masyarakat, tetapi juga menimbulkan konsekuensi ekonomi yang luas. Laporan World Bank dan Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) *The Cost of Air Pollution: Strengthening the Economic Case for Action* World Bank (2016b), menegaskan bahwa polusi udara luar ruang menyebabkan kerugian ekonomi global yang sangat signifikan melalui meningkatnya beban penyakit, menurunnya harapan hidup, serta hilangnya produktivitas tenaga kerja.

Polusi udara, termasuk emisi karbon yang berkontribusi terhadap penurunan kualitas udara, berdampak pada meningkatnya tingkat ketidakhadiran kerja (*absenteisme*), menurunnya kapasitas fisik tenaga kerja, serta melemahnya kinerja sektor-sektor padat karya yang sangat bergantung pada kondisi kesehatan pekerja. Temuan tersebut memperkuat argumentasi bahwa emisi karbon memiliki hubungan erat dengan depresiasi *health capital* dan penurunan produktivitas tenaga kerja, terutama di negara berkembang yang masih bertumpu pada aktivitas ekonomi padat karya.

Secara teoretis, hubungan negatif antara emisi karbon dan produktivitas tenaga kerja juga dijelaskan melalui pendekatan *Environmental Kuznets Curve* (EKC), yang menyatakan bahwa degradasi lingkungan cenderung meningkat pada

tahap awal pertumbuhan ekonomi, tetapi menurun ketika ekonomi mulai mengadopsi teknologi yang lebih bersih dan efisien. Dalam konteks ini, peningkatan emisi karbon pada tahap industrialisasi dapat menekan produktivitas tenaga kerja, sementara upaya dekarbonisasi pada tahap yang lebih maju dapat meningkatkan produktivitas melalui kualitas lingkungan yang lebih baik.

Dengan demikian, variabel emisi karbon dalam penelitian ini tidak hanya dipandang sebagai indikator lingkungan, tetapi juga variabel ekonomi yang dapat memengaruhi produktivitas tenaga kerja melalui mekanisme kesehatan, efisiensi tenaga kerja, dan keberlanjutan jangka panjang.

2.1.5.3 Faktor Penyebab Emisi Karbon

Emisi karbon merupakan salah satu isu lingkungan yang semakin penting dalam kajian pembangunan berkelanjutan. Kenaikan emisi karbon terutama dipicu oleh meningkatnya aktivitas ekonomi yang bergantung pada sumber energi fosil. Dalam konteks Indonesia, pertumbuhan industri, transportasi, dan konsumsi energi menjadi faktor yang paling berperan dalam peningkatan tingkat emisi karbon. Hal ini sejalan dengan pandangan IPCC (2021) yang menyatakan bahwa aktivitas manusia, khususnya yang berkaitan dengan penggunaan bahan bakar fosil, merupakan penyebab utama akumulasi CO₂ di atmosfer. Faktor - faktor terbesar penyebab tingginya emisi karbon adalah

1. Sektor Industri.

Banyak industri, terutama manufaktur, masih mengandalkan bahan bakar fosil seperti batu bara dan minyak sebagai sumber energi utama. Ketika *output* produksi meningkat, konsumsi energi pun turut bertambah sehingga pelepasan

CO₂ ke atmosfer menjadi semakin intensif. Sikder et al. (2022) menemukan bahwa industrialisasi, pertumbuhan ekonomi, dan penggunaan energi secara signifikan meningkatkan emisi CO₂ di negara-negara berkembang, di mana sektor industri masih sangat bergantung pada energi berbasis bahan bakar fosil. Temuan ini menegaskan bahwa pertumbuhan sektor industri berbanding lurus dengan meningkatnya tekanan terhadap lingkungan melalui kenaikan emisi karbon, sehingga sektor ini menjadi salah satu kontributor utama terhadap degradasi kualitas lingkungan di negara-negara berkembang.

2. Sektor Transportasi

Sektor transportasi juga memberikan kontribusi signifikan terhadap emisi karbon. Pertumbuhan kendaraan bermotor yang pesat, khususnya di kawasan urban, menyebabkan meningkatnya pembakaran bahan bakar fosil seperti bensin dan diesel. IAE (2022) melaporkan bahwa transportasi global menyumbang lebih dari sepertiga total konsumsi energi berbasis minyak, sehingga sektor ini menjadi salah satu penyumbang emisi terbesar. Di Indonesia, mobilitas masyarakat yang tinggi serta keterbatasan transportasi publik memperkuat ketergantungan pada kendaraan pribadi, sehingga intensitas emisi semakin meningkat.

3. Sektor Energi

Meskipun energi terbarukan mulai dikembangkan, komposisi energi nasional masih sangat didominasi batu bara. Ketergantungan ini menyebabkan tingginya volume emisi CO₂ yang dilepaskan setiap tahun. Ketergantungan negara-negara berkembang pada energi fosil menjadi salah satu faktor utama

yang menghambat upaya penurunan emisi karbon. Hou et al. (2023) menunjukkan bahwa peningkatan konsumsi energi fosil yang disertai pertumbuhan ekonomi berkontribusi langsung terhadap kenaikan emisi CO₂, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Temuan ini menegaskan bahwa negara yang masih bertumpu pada energi fosil menghadapi tantangan struktural dalam menekan emisi, karena kebutuhan energi terus meningkat seiring berkembangnya aktivitas ekonomi dan industrialisasi.

2.1.5.4 Dampak Emisi Karbon

Dampak dari tingginya emisi karbon tidak hanya dirasakan pada lingkungan, tetapi juga berpengaruh langsung terhadap produktivitas tenaga kerja. Polusi udara yang berasal dari emisi CO₂ dapat menurunkan kapasitas fisik dan kognitif pekerja. Graff et al. (2024) menemukan bahwa paparan polusi pada level moderat saja sudah dapat mengurangi kemampuan fokus, meningkatkan kelelahan, dan pada akhirnya menekan *output* kerja harian. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan emisi karbon memberikan dampak nyata pada performa tenaga kerja, terutama pada sektor-sektor yang mengandalkan tenaga fisik dan konsentrasi tinggi.

Selain itu, emisi karbon berkontribusi terhadap pemanasan global yang memicu peningkatan suhu ekstrem. Pekerja yang beraktivitas di luar ruangan seperti konstruksi, pertanian, dan transportasi menjadi kelompok yang paling rentan terhadap penurunan produktivitas akibat kondisi panas. Flouris et al. (2022), menemukan bahwa peningkatan suhu lingkungan akibat perubahan iklim menurunkan produktivitas tenaga kerja di sektor pertanian, terutama di wilayah tropis yang sudah panas dan bergantung pada pekerjaan luar ruangan. Hal ini

menunjukkan bahwa perubahan iklim memiliki dampak ekonomi langsung melalui menurunnya produktivitas dan meningkatnya kelelahan tenaga kerja.

Dari sisi kesehatan, emisi karbon yang tinggi berhubungan dengan risiko penyakit pernapasan, kardiovaskular, dan gangguan kesehatan lainnya. OECD (2016) melaporkan bahwa polusi udara tidak hanya menyebabkan jutaan kematian dini setiap tahun, tetapi juga menurunkan kapasitas kerja dan produktivitas ekonomi akibat meningkatnya beban penyakit di kalangan usia produktif. Pekerja yang sering terpapar polusi memiliki tingkat absensi yang lebih tinggi, yang pada akhirnya menurunkan *output* nasional.

Secara keseluruhan, tingginya emisi karbon dapat menghambat pencapaian pembangunan berkelanjutan. Emisi yang tidak terkendali tidak hanya merusak kualitas lingkungan, tetapi juga mengurangi produktivitas tenaga kerja yang merupakan salah satu pilar utama dalam mewujudkan Indonesia Emas 2045. Kualitas lingkungan yang memburuk akan memperlambat laju pertumbuhan ekonomi dan meningkatkan biaya kesehatan, sehingga menurunkan efisiensi dan daya saing tenaga kerja di tingkat nasional.

2.1.5.5 Pengukuran Emisi Karbon (CO₂) Per Kapita

Emisi karbon per kapita merupakan indikator utama yang digunakan untuk menggambarkan tingkat kontribusi individu terhadap total emisi karbon suatu negara. Indikator ini memperlihatkan besarnya emisi karbon dioksida (CO₂) yang dihasilkan oleh setiap penduduk dalam satu tahun, dan menjadi ukuran penting dalam analisis pembangunan berkelanjutan. Menurut World Bank (2023b), emisi karbon per kapita mencerminkan hubungan antara aktivitas ekonomi, konsumsi

energi, dan efisiensi lingkungan, sehingga menjadi dasar dalam perumusan kebijakan mitigasi perubahan iklim.

Secara umum, pengukuran emisi karbon per kapita dilakukan dengan membandingkan total emisi karbon yang dihasilkan suatu negara terhadap jumlah penduduknya pada periode tertentu. Rumus dasarnya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$E_{pc} = \frac{E_{CO_2}}{P}$$

Keterangan:

- E_{pc} = Emisi karbon per kapita (ton CO₂ per orang per tahun)
- E_{CO_2} = Total emisi karbon tahunan (ton CO₂)
- P = Jumlah penduduk (jiwa)

Sebagai contoh, jika total emisi karbon suatu negara sebesar 500 juta ton CO₂ dan jumlah penduduknya 100 juta jiwa, maka emisi karbon per kapitanya adalah 5 ton CO₂ per orang per tahun. Perhitungan ini digunakan secara luas oleh lembaga internasional seperti *International Energy Agency* (IEA) dan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) dalam penyusunan laporan global mengenai jejak karbon.

Menurut Nordhaus (2019), indikator ini tidak hanya menggambarkan tingkat emisi, tetapi juga mencerminkan efisiensi penggunaan energi dan teknologi suatu negara. Negara dengan pertumbuhan ekonomi tinggi biasanya memiliki emisi per kapita yang besar, karena tingginya konsumsi energi fosil. Sebaliknya, negara berkembang umumnya memiliki tingkat emisi yang lebih rendah, meskipun tingkat pertumbuhan ekonominya cepat. Oleh karena itu, indikator ini penting untuk

memahami keseimbangan antara pembangunan ekonomi dan tanggung jawab lingkungan global.

Secara teoritis, dasar pemikiran pengukuran emisi karbon per kapita dapat dijelaskan melalui teori eksternalitas negatif yang dikemukakan oleh Arthur C. Pigou, sebagaimana dijelaskan kembali oleh Klenert et al. (2018) dalam *Nature Climate Change*. Menurut Pigou melalui kajian tersebut, aktivitas ekonomi yang menghasilkan polusi menimbulkan yang tidak tercermin dalam harga pasar, sehingga diperlukan mekanisme pengukuran untuk menilai dampak tersebut secara kuantitatif. Konsep ini diperluas oleh Stern (2006) dalam *The Stern Review on the Economics of Climate Change*, yang menyebutkan bahwa perubahan iklim adalah bentuk kegagalan pasar terbesar karena emisi karbon tidak dikenai harga sesuai dampak lingkungannya. Oleh sebab itu, pengukuran emisi karbon per kapita menjadi salah satu instrumen untuk menilai tanggung jawab sosial dan ekonomi dari aktivitas pembangunan.

Dalam konteks metodologi, IPCC (2019) mengembangkan dua pendekatan utama dalam penghitungan emisi karbon per kapita, yaitu *production-based approach* dan *consumption-based approach*. Pendekatan berbasis produksi menghitung seluruh emisi yang dihasilkan oleh aktivitas dalam negeri seperti industri, transportasi, dan sektor energi. Pendekatan ini lazim digunakan untuk menilai tanggung jawab negara produsen. Sementara itu, pendekatan berbasis konsumsi menghitung emisi yang berasal dari seluruh barang dan jasa yang dikonsumsi oleh masyarakat, termasuk emisi dari barang impor dan dikurangi dengan ekspor. Peters & Hertwich (2008) menegaskan bahwa pendekatan berbasis

konsumsi lebih adil secara global karena memperhitungkan emisi yang dipindahkan antarnegara melalui perdagangan internasional.

Emisi karbon per kapita berperan penting sebagai indikator evaluatif dalam menilai efektivitas kebijakan energi dan inovasi teknologi hijau. Herman & Shenk (2021) dalam *Environmental Science & Policy* menjelaskan bahwa indikator ini mampu mencerminkan sejauh mana kebijakan energi berorientasi pada efisiensi dan transisi menuju sistem energi bersih. Negara yang menerapkan kebijakan *carbon pricing* serta meningkatkan investasi energi terbarukan umumnya menunjukkan penurunan bertahap dalam tingkat emisi karbon per kapita. Sejalan dengan itu, Wang et al. (2022) dalam *Energy Economics* menemukan bahwa penerapan *emission trading system (ETS)* di wilayah percontohan Tiongkok secara signifikan meningkatkan efisiensi energi dan menurunkan intensitas karbon. Temuan ini menegaskan bahwa kebijakan berbasis pasar seperti *carbon pricing* dan *emission trading* tidak hanya efektif dalam mengendalikan emisi, tetapi juga berperan strategis dalam mempercepat transformasi menuju ekonomi rendah karbon.

Dari perspektif pembangunan berkelanjutan, indikator ini juga menjadi alat penting dalam pemantauan kemajuan menuju target *net-zero emissions*. Zhao et al. (2024) dalam *Journal of Cleaner Production* menyatakan bahwa keberhasilan transisi menuju ekonomi rendah karbon sangat bergantung pada kemampuan negara dalam menyeimbangkan antara pertumbuhan ekonomi dan pengurangan emisi per kapita. Dengan demikian, pengukuran emisi karbon per kapita bukan sekadar angka

statistik, melainkan refleksi atas tanggung jawab kolektif terhadap perubahan iklim global.

2.1.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan rangkaian studi yang telah dilakukan sebelumnya dan memiliki keterkaitan dengan topik penelitian yang sedang dikaji oleh penulis. Kajian terhadap penelitian terdahulu berfungsi sebagai landasan perbandingan sekaligus penguat bagi hasil analisis yang akan dilakukan. Ringkasan berbagai penelitian tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.1 Ringkasan Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti, Tahun, Judul Penelitian	Persamaan	Perbedaan	Hasil Penelitian	Sumber Referensi
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1.	Trpeski & Cvetanoska (2019), <i>Gross Fixed Capital Formation and Productivity in Southeastern Europe</i> .	PMTB.	IPM, <i>Mobile Cellular Subscription</i> , dan Emisi Karbon	PMTB berpengaruh positif signifikan terhadap produktivitas tenaga kerja.	Proceedings of FEB Zagreb International Odyssey Conference on Economics and Business, Vol. 1, No. 1, ISSN: 2671-132X, Penerbit: University of Zagreb.
2.	Sabillah H, et al. (2022), Pengaruh Upah Minimum, Telepon Seluler, dan Pengawasan Ketenagakerjaan terhadap Kewirausahaan dan Produktivitas Tenaga Kerja di Indonesia Tahun	<i>Mobile Phone</i> .	IPM., PMTB, dan Emisi Karbon	Telepon seluler berpengaruh positif dan signifikan terhadap produktivitas tenaga kerja di Indonesia tahun 2022	Athens Journal of Business & Economics, Vol. 3, No. 3, Hal. 263-277, ISSN: 2474-7877, Penerbit: Athens Institute for Education and Research (ATINER).

No.	Peneliti, Tahun, Judul Penelitian	Persamaan	Perbedaan	Hasil Penelitian	Sumber Referensi
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
2022					
3.	Kim, Park, & Komarek (2021), <i>The impact of Mobile ICT on national productivity in developed and developing countries.</i>	Telepon seluler.	IPM., PMTB, dan Emisi Karbon	<i>Mobile ICT</i> memainkan peran penting dalam meningkatkan produktivitas nasional di negara-negara berkembang.	Information & Management, Vol. 58, No. 3, ISSN: 0378-7206, Penerbit: North-Holland (Elsevier).
4.	Bibi, et al. (2024), <i>Impact of Human Capital on Total Factor Productivity: A Case Study of Pakistan.</i>	IPM dan PMTB	<i>Mobile Cellular Subscriptions</i> dan Emisi Karbon.	IPM dan PMTB berpengaruh positif dan signifikan terhadap produktivitas (TFP).	Journal of Asian Development Studies, Vol. 13, No. 4, Hal. 1-13 (estimasi halaman dari abstrak), DOI: 10.62345/jads.2024.13.4.47, Penerbit: Journal of Asian Development Studies.
5.	Ahmad & Du (2017), <i>Effects of CO₂ energy production and CO₂ emissions on economic growth in Iran: ARDL approach.</i>	Emisi karbon	IPM, PMTB, dan <i>Mobile Cellular Subscriptions</i>	Adanya hubungan jangka panjang di mana emisi CO ₂ dan produksi energi berpengaruh positif terhadap pertumbuhan ekonomi di Iran.	Energy, Vol. 123, Hal. 521-537, ISSN: 0360-5442, Penerbit: Pergamon (Elsevier).
6.	Graff Zivin & Neidell (2012), <i>The impact of pollution on worker productivity.</i>	Polusi udara.	IPM, PMTB, dan <i>Mobile Cellular Subscriptions</i>	Peningkatan level polusi (Ozon) berdampak negatif signifikan terhadap produktivitas pekerja fisik.	American Economic Review, Vol. 102, No. 7, Hal. 3652-3673, Penerbit: American Economic Association.
7.	Hindrayani, Rina, & Naufalin (2024), <i>Impact of Indonesia's ICT</i>	Teknologi Informasi (ICT)	IPM., PMTB, dan Emisi Karbon	Pengembangan ICT memiliki dampak positif terhadap ekonomi	Jurnal Pendidikan Ekonomi Dan Bisnis (JPEB), Vol. 12, No. 01,

No.	Peneliti, Tahun, Judul Penelitian	Persamaan	Perbedaan	Hasil Penelitian	Sumber Referensi
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>Development on Economic Growth.</i>			Indonesia baik dalam jangka pendek maupun panjang.	Hal. 01-11.DOI: 10.21009/JPEB.01 2.1.1.
8.	Fadilah, et al. (2020), <i>The impact of renewable energy consumption on the economic growth of the ASEAN countries.</i>	PMTB	IPM, <i>Mobile Cellular Subscriptions</i> , dan Emisi Karbon	Konsumsi energi, pertumbuhan angkatan kerja, dan stok modal (<i>Capital Stock</i>) memiliki hubungan positif terhadap pertumbuhan ekonomi di negara-negara ASEAN.	International Journal of Energy Economics and Policy, Vol. 10, No. 6, Hal. 602-608. ISSN: 2146-4553.
9.	Dina, et al. (2024), Pengaruh Kualitas Sumber Daya Manusia Terhadap Produktivitas Tenaga Kerja Di Kota Kendari.	IPM.	PMTB, <i>Mobile Cellular Subscriptions</i> , dan Emisi Karbon	Secara simultan, variabel harapan hidup, rata-rata lama sekolah, dan pengeluaran per kapita berpengaruh signifikan terhadap produktivitas tenaga kerja di Kota Kendari.	Jurnal Ekonomi (JE), Vol. 9, No. 3, Hal. 48–56. Universitas Halu Oleo. e-ISSN: 2503-1937.
10.	Putra & Budiasih (2024), <i>Determinants of Economic Growth and Labor Productivity in Indonesia.</i>	IPM, PMTB, dan <i>Mobile Cellular Subscriptions</i>	Emisi Karbon	Pendidikan adalah faktor paling dominan yang meningkatkan produktivitas tenaga kerja secara signifikan di 23 provinsi.	Economics Development Analysis Journal (EDAJ), Vol. 13, No. 3.Penerbit: Universitas Negeri Semarang (UNNES).
11.	Maharani, Kartiasih, & Widiyasari (2025), <i>ICT's Impact on Labour Productivity Towards</i>	Teknologi (ICT), Modal Fisik, dan Modal Manusia.	Emisi Karbon	Menemukan bahwa akses internet, modal fisik, modal manusia, dan keterbukaan perdagangan meningkatkan	Ekonomi dan Bisnis (E-Journal UPNVJ), Vol. 12, No. 1, Hal. 1-21. DOI: 10.35590/jeb.v12i1.10778.

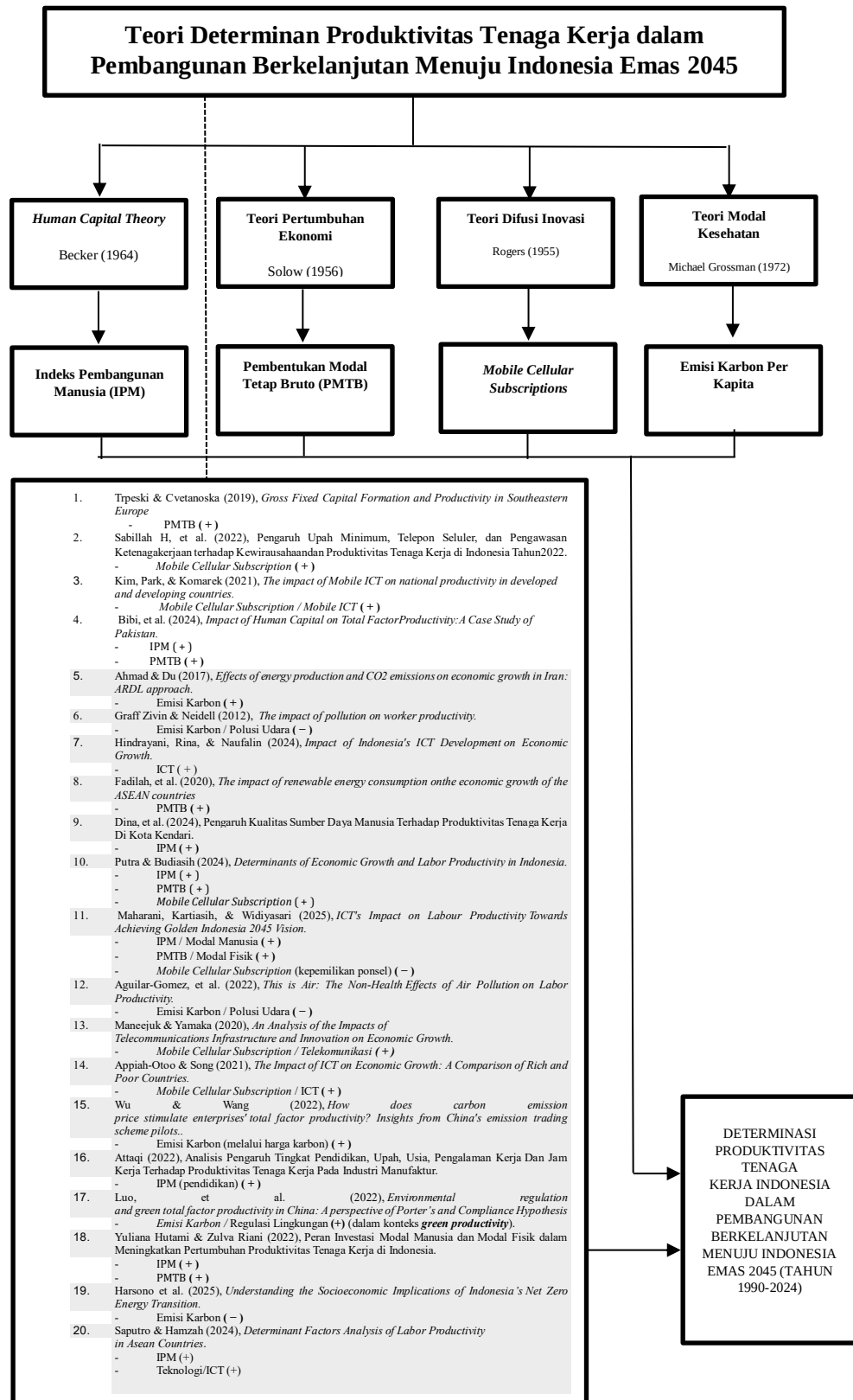
No.	Peneliti, Tahun, Judul Penelitian	Persamaan	Perbedaan	Hasil Penelitian	Sumber Referensi
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>Achieving Golden Indonesia 2045 Vision.</i>			produktivitas, tetapi kepemilikan ponsel berpengaruh negatif signifikan.	
12.	Aguilar-Gomez, et al. (2022), <i>This is Air: The Non-Health Effects of Air Pollution on Labor Productivity.</i>	Polusi Udara	IPM, PMTB, dan <i>Mobile Cellular Subscriptions</i>	Menemukan bukti kausal bahwa peningkatan polusi udara menurunkan produktivitas pekerja sebesar variasi yang signifikan, bahkan pada tingkat polusi sedang.	Journal of Environmental Economics and Management, Vol. 116, 102716. Penerbit: Elsevier.
13.	Maneejuk & Yamaka (2020), <i>An Analysis of the Impacts of Telecommunications Infrastructure and Innovation on Economic Growth.</i>	Telekomunikasi	IPM, PMTB, dan Emisi Karbon.	Infrastruktur telekomunikasi (telepon & internet) memiliki dampak positif yang kuat terhadap pertumbuhan ekonomi.	Telecommunications Policy, Vol. 44, No. 10. Penerbit: Elsevier.
14.	Appiah-Otoo & Song (2021), <i>The Impact of ICT on Economic Growth: A Comparison of Rich and Poor Countries.</i>	Teknologi Informasi dan Komunikasi	IPM, PMTB, dan Emisi Karbon	Menemukan bahwa adopsi ICT (termasuk seluler) meningkatkan pertumbuhan ekonomi di negara kaya dan miskin.	Telecommunications Policy, Vol. 45, No. 2. Penerbit: Elsevier.
15.	Wu & Wang (2022), <i>How does carbon emission price stimulate enterprises' total factor productivity? Insights from China's emission trading scheme</i>	Aspek Lingkungan	IPM, PMTB, dan <i>Mobile Cellular Subscriptions</i>	Menemukan hubungan kausal positif yang signifikan antara harga karbon dan produktivitas perusahaan (TFP).	Energy Economics, Vol. 105990. Penerbit: Elsevier (Jurnal Bergengsi). DOI: 10.1016/j.eneco.2022.105990

No.	Peneliti, Tahun, Judul Penelitian	Persamaan	Perbedaan	Hasil Penelitian	Sumber Referensi
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>pilots.</i>				
16.	Attaqi (2022), Analisis Pengaruh Tingkat Pendidikan, Upah, Usia, Pengalaman Kerja Dan Jam Kerja Terhadap Produktivitas Tenaga Kerja Pada Industri Manufaktur.	IPM	PMTB, <i>Mobile Cellular Subscriptions</i> , dan Emisi Karbon.	Upah, Usia, Pengalaman Kerja, dan Jam Kerja berpengaruh positif dan signifikan terhadap produktivitas.	Journal of Development Economic and Social Studies, Vol. 1, No. 1, Hal. 123-141.DOI: 10.21776/jdess.2022.01.1.12
17.	Luo, et al. (2022), <i>Environmental regulation and green total factor productivity in China: A perspective of Porter's and Compliance Hypothesis.</i>	Lingkungan	IPM, PMTB, dan <i>Mobile Cellular Subscriptions</i>	Regulasi lingkungan secara langsung meningkatkan pertumbuhan produktivitas hijau (GTFP).	Ecological Indicators, Vol. 142, 109744.Penerbit: Elsevier (Jurnal Q1).DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109744.
18.	Yuliana Hutami & Zulva Riani (2022), Peran Investasi Modal Manusia dan Modal Fisik dalam Meningkatkan Pertumbuhan Produktivitas Tenaga Kerja di Indonesia.	Modal Manusia dan Modal Fisik/PMTB	<i>Mobile Cellular Subscriptions</i> dan Emisi Karbon	Investasi Modal Manusia (Pendidikan & Kesehatan) berpengaruh positif dan signifikan.	Ecosains: Jurnal Ilmiah Ekonomi dan Pembangunan, Vol. 11, No. 1, Hal. 30-39. ISSN: 2302-8408.
19.	Harsono et al. (2025), <i>Understanding the Socioeconomic Implications of Indonesia's Net</i>	Emisi Karbon	IPM, PMTB, dan <i>Mobile Cellular Subscriptions</i>	Investasi energi bersih dan efisiensi energi mampu menurunkan emisi secara signifikan dan secara tidak	WRI Indonesia Working Paper, 2025. Jakarta: World Resources Institute (WRI) Indonesia. DOI:

No.	Peneliti, Tahun, Judul Penelitian	Persamaan	Perbedaan	Hasil Penelitian	Sumber Referensi
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>Zero Energy Transition</i>			langsung meningkatkan produktivitas tenaga kerja.	10.46830/wriwp.2 4.0012.
20.	Saputro & Hamzah (2024), <i>Determinant Factors Analysis of Labor Productivity in Asean Countries.</i>	IPM, Investasi Asing/FDI, Teknologi.	<i>Mobile Cellular Subscriptions</i> dan Emisi Karbon	Menemukan bahwa HDI dan Teknologi memiliki pengaruh signifikan terhadap produktivitas tenaga kerja.	OIDA International Journal of Sustainable Development, Vol. 17, No. 10, Hal. 11-20. SSRN Posted: 5 Aug 2024.

2.1.7 Paradigma Alur Berpikir

Mengacu pada landasan teori serta temuan empiris dari penelitian terdahulu, paradigma berpikir dalam penelitian ini disusun untuk menganalisis pengaruh Indeks Pembangunan Manusia (IPM), Pembentukan Modal Tetap Bruto (PMTB), teknologi seluler, dan emisi karbon terhadap produktivitas tenaga kerja.



2.2 Kerangka Pemikiran

Berdasarkan landasan teori dan hasil penelitian terdahulu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jangka pendek dan jangka panjang dari Indeks Pembangunan Manusia (IPM), Pembentukan Modal Tetap Bruto (PMTB), *Mobile Cellular Subscription* (teknologi seluler), dan Emisi Karbon (CO₂) terhadap Produktivitas Tenaga Kerja di Indonesia. Analisis ini dilakukan dalam konteks pembangunan berkelanjutan guna memahami sejauh mana kualitas sumber daya manusia, investasi fisik, adopsi teknologi digital, serta faktor lingkungan berkontribusi terhadap peningkatan produktivitas nasional.

2.2.1 Hubungan Kualitas Modal Manusia (IPM) dengan Produktivitas

Berdasarkan *Human Capital Theory* yang dikemukakan Becker (1964), manusia tidak semata-mata dipandang sebagai tenaga kerja fisik, melainkan sebagai bentuk modal yang memiliki pengetahuan, keterampilan, dan kesehatan yang dapat meningkatkan produktivitas ekonomi. Indeks Pembangunan Manusia (IPM) mencerminkan kualitas dari modal manusia tersebut melalui tiga dimensi utama, yaitu pendidikan, kesehatan, dan pengeluaran.

Secara teoritis, tenaga kerja dengan tingkat pendidikan yang lebih tinggi memiliki kemampuan kognitif yang lebih baik untuk memahami teknologi dan berinovasi, sementara tingkat kesehatan yang baik meningkatkan stamina kerja dan menurunkan tingkat absensi. Kombinasi antara pengetahuan dan kesehatan ini meningkatkan efisiensi kerja per satuan waktu dan memperkuat produktivitas agregat nasional.

Temuan empiris mendukung teori ini Dina. L et al. (2024) membuktikan bahwa komponen pendidikan, kesehatan, dan pendapatan sebagai pembentuk Indeks Pembangunan Manusia (IPM) secara simultan berpengaruh signifikan terhadap produktivitas tenaga kerja. Yuliana Hutami & Zulva Riani (2022) menunjukkan bahwa investasi dalam modal manusia berperan penting dalam meningkatkan pertumbuhan produktivitas tenaga kerja. Selain itu, Bibi et al. (2024) juga menemukan bahwa modal manusia, khususnya indikator kesehatan dan pendidikan, memiliki pengaruh positif terhadap produktivitas faktor total di Pakistan. Temuan serupa juga diperkuat oleh Putra dan Budiasih (2024) yang menegaskan bahwa pendidikan merupakan faktor dominan dalam peningkatan produktivitas tenaga kerja antar provinsi di Indonesia.

Dengan demikian, peningkatan IPM secara berkelanjutan dapat dipandang sebagai strategi fundamental untuk mendorong produktivitas tenaga kerja Indonesia dalam rangka mencapai pembangunan ekonomi berkelanjutan menuju Indonesia Emas 2045.

2.2.2 Hubungan Akumulasi Modal Fisik (PMTB) dengan Produktivitas

Dalam kerangka Model Pertumbuhan Solow (1956a) akumulasi modal fisik merupakan faktor utama yang menentukan pertumbuhan produktivitas tenaga kerja melalui mekanisme *capital deepening*, yaitu peningkatan jumlah modal per pekerja. Pembentukan Modal Tetap Bruto (PMTB) menjadi indikator penting yang mencerminkan investasi pada mesin, peralatan, bangunan, dan infrastruktur yang mendukung aktivitas produksi.

Secara teoritis, peningkatan stok modal fisik memungkinkan tenaga kerja bekerja dengan lebih efisien karena didukung oleh peralatan dan teknologi yang lebih baik. Seorang pekerja yang memiliki akses pada mesin modern dan infrastruktur memadai akan menghasilkan *output* yang lebih tinggi dibandingkan pekerja yang bergantung pada alat sederhana dalam waktu kerja yang sama.

Bukti empiris mendukung pandangan tersebut. Trpeski & Cvetanoska (2019) menemukan bahwa *Gross Fixed Capital Formation* (GFCF) berpengaruh positif dan signifikan terhadap produktivitas tenaga kerja di kawasan Eropa Tenggara. Bibi et al. (2024) juga menunjukkan bahwa PMTB memiliki dampak positif terhadap *Total Factor Productivity* (TFP) di Pakistan. Sementara itu, Yuliana Hutami & Zulva Riani (2022) membuktikan bahwa investasi dalam modal fisik memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan produktivitas tenaga kerja di Indonesia. Hasil serupa dikonfirmasi oleh Putra dan Putra & Budiasih (2024) yang menegaskan bahwa investasi berperan penting dalam mendorong pertumbuhan ekonomi dan produktivitas di berbagai provinsi di Indonesia.

2.2.3 Hubungan Teknologi Seluler (*Mobile Cellular Subscription*) dengan Produktivitas

Dalam era ekonomi digital, teknologi informasi menjadi salah satu penggerak utama peningkatan efisiensi dan produktivitas tenaga kerja. Teknologi berfungsi sebagai daya ungkit (*leverage*) yang memungkinkan proses produksi dan distribusi berjalan lebih cepat, murah, dan efektif. Salah satu indikator penting yang mencerminkan tingkat adopsi teknologi komunikasi di suatu negara adalah *Mobile Cellular Subscription*, yaitu jumlah pelanggan layanan telepon seluler per 100

penduduk. Indikator ini menjadi proksi yang merepresentasikan kemampuan masyarakat dan dunia usaha untuk mengakses informasi serta berinteraksi secara digital.

Berdasarkan teori difusi inovasi (Rogers, 2003), adopsi teknologi baru terjadi ketika individu dan organisasi menyadari manfaat dari teknologi tersebut dalam menurunkan biaya transaksi serta meningkatkan efisiensi koordinasi. Dalam konteks ketenagakerjaan, kepemilikan telepon seluler memberikan manfaat langsung kepada pekerja, terutama di sektor informal dan daerah berkembang. Melalui perangkat seluler, pekerja dapat memperoleh informasi harga pasar, mencari peluang kerja, melakukan komunikasi bisnis, dan menjangkau pelanggan tanpa hambatan geografis. Akses informasi secara *real-time* ini menurunkan tingkat asimetri informasi, menghemat waktu, dan mengurangi biaya operasional, sehingga pada akhirnya meningkatkan nilai tambah per pekerja (*labor productivity*).

Sejumlah penelitian empiris mendukung hubungan positif antara adopsi teknologi seluler dan produktivitas tenaga kerja. Sabillah et al. (2022) menemukan bahwa peningkatan persentase rumah tangga yang memiliki telepon seluler berpengaruh positif dan signifikan terhadap produktivitas tenaga kerja di Indonesia, menunjukkan bahwa akses telepon seluler berperan penting dalam meningkatkan efisiensi dan kinerja tenaga kerja. Hasil penelitian tersebut sejalan dengan temuan Kim et al. (2021) yang menyimpulkan bahwa infrastruktur telekomunikasi, khususnya *mobile ICT*, berkontribusi signifikan terhadap peningkatan produktivitas di negara berkembang. Teknologi seluler memungkinkan transfer pengetahuan dan

informasi yang lebih cepat antar pelaku ekonomi, sehingga mempercepat proses inovasi dan peningkatan produktivitas.

Selain itu, Maneejuk & Yamaka (2020) mengungkapkan bahwa pertumbuhan infrastruktur telekomunikasi, baik jaringan seluler maupun *broadband*, mendorong pertumbuhan ekonomi dan produktivitas secara simultan. Penelitian Appiah-Otoo & Song (2021) juga menegaskan bahwa peningkatan adopsi teknologi informasi dan komunikasi (ICT) memiliki dampak jangka panjang terhadap peningkatan efisiensi produksi di berbagai negara, baik maju maupun berkembang. Sementara itu, dalam konteks Indonesia, Hindrayani et al. (2024) menemukan bahwa pengembangan infrastruktur telekomunikasi seluler dan digitalisasi ekonomi memiliki pengaruh positif terhadap produktivitas dan pertumbuhan ekonomi nasional, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

Secara konseptual, peningkatan jumlah *Mobile Cellular Subscription* dapat dianggap sebagai representasi dari meningkatnya kemampuan ekonomi dalam mengakses dan memanfaatkan informasi. Dengan kata lain, semakin tinggi tingkat penggunaan teknologi seluler, semakin besar pula potensi tenaga kerja untuk meningkatkan produktivitas melalui komunikasi yang efisien, pengambilan keputusan yang cepat, dan peluang pasar yang lebih luas. Oleh karena itu, variabel ini menjadi salah satu faktor strategis dalam menjelaskan determinan produktivitas tenaga kerja Indonesia menuju pembangunan berkelanjutan dan visi Indonesia Emas 2045.

2.2.4 Hubungan Emisi Karbon dengan Produktivitas

Berbeda dengan pandangan konvensional yang menganggap emisi karbon sebagai indikator aktivitas ekonomi yang dinamis, pendekatan *Green Economy* dan teori *Health Capital* yang dikemukakan oleh Grossman (1972) menempatkan emisi karbon sebagai faktor destruktif terhadap produktivitas tenaga kerja dan keberlanjutan ekonomi. Dalam perspektif ini, lingkungan yang sehat merupakan bentuk modal manusia (*health capital*) yang menentukan kemampuan pekerja dalam menghasilkan *output* secara optimal. Ketika tingkat emisi karbon meningkat, kualitas udara menurun dan kondisi lingkungan kerja menjadi tidak kondusif bagi kesehatan tenaga kerja.

Secara logis, peningkatan emisi karbon menyebabkan polusi udara yang berimplikasi langsung terhadap penurunan kapasitas fisik dan kognitif pekerja. Paparan polutan seperti karbon dioksida (CO₂) dan partikulat udara (PM_{2.5}) dapat memicu gangguan pernapasan, kelelahan kronis, serta menurunkan tingkat konsentrasi dan produktivitas kerja. Akibatnya, jam kerja efektif menurun, tingkat absensi meningkat, dan efisiensi tenaga kerja melemah. Selain dampak terhadap individu, tingginya tingkat emisi juga menimbulkan biaya eksternalitas ekonomi berupa meningkatnya pengeluaran kesehatan, penurunan *output* industri, serta munculnya hambatan regulasi lingkungan yang dapat menekan efisiensi modal dan kapasitas produksi nasional.

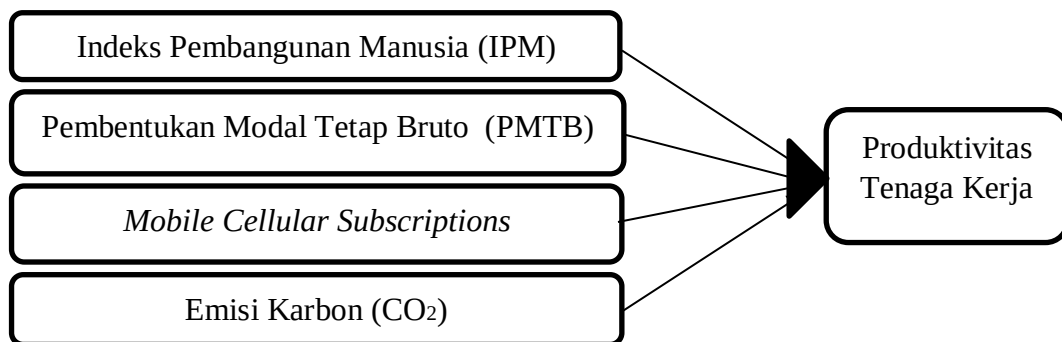
Temuan empiris dari berbagai penelitian mendukung argumentasi tersebut. Zivin & Neidell (2012), menunjukkan bahwa paparan polusi udara secara signifikan menurunkan produktivitas pekerja sektor pertanian di California. Dalam konteks

makroekonomi, Ahmad & Du (2017) menemukan bahwa peningkatan emisi karbon memiliki hubungan negatif terhadap produktivitas tenaga kerja dan pertumbuhan ekonomi di negara-negara berkembang, terutama melalui mekanisme penurunan kualitas kesehatan publik. Penelitian Wu & Wang (2022) juga menegaskan bahwa tingginya emisi karbon menekan produktivitas industri di Tiongkok, karena perusahaan harus mengalokasikan sumber daya tambahan untuk memenuhi regulasi lingkungan dan memperbaiki kerusakan ekologis.

Sementara itu, Luo et al. (2022) mengidentifikasi bahwa kebijakan pengurangan emisi (*carbon mitigation policies*) justru dapat meningkatkan produktivitas jangka panjang melalui inovasi teknologi bersih (*green innovation*). Dalam konteks Indonesia, Harsono et al. (2025) melalui kajian WRI Indonesia yang menunjukkan bahwa investasi pada energi bersih dan efisiensi energi tidak hanya berkontribusi pada penurunan emisi karbon, tetapi juga menghasilkan manfaat ekonomi yang signifikan. Transisi menuju energi bersih terbukti mampu menurunkan tingkat polusi udara, mengurangi beban biaya kesehatan, serta meningkatkan produktivitas tenaga kerja melalui perbaikan kualitas kesehatan masyarakat. Dengan demikian, bukti empiris di Indonesia sejalan dengan kerangka teori modal kesehatan (*health capital theory*) yang menyatakan bahwa penurunan emisi karbon dapat meningkatkan produktivitas tenaga kerja secara tidak langsung melalui perbaikan kondisi kesehatan, sekaligus menegaskan pentingnya peran teknologi dan kualitas investasi dalam mendorong produktivitas jangka panjang.

Berdasarkan temuan-temuan tersebut, dapat disimpulkan bahwa emisi karbon memiliki hubungan negatif terhadap produktivitas tenaga kerja, baik secara

langsung melalui degradasi kesehatan maupun secara tidak langsung melalui peningkatan biaya ekonomi akibat kerusakan lingkungan. Dengan demikian, pengendalian emisi karbon merupakan langkah strategis dalam meningkatkan efisiensi tenaga kerja dan mendukung arah pembangunan berkelanjutan menuju Indonesia Emas 2045. Berdasarkan uraian di atas, kerangka pemikiran dalam penelitian ini dapat digambarkan dalam skema berikut:



Gambar 2.2 Kerangka Pemikiran

2.3 Hipotesis Penelitian

Hipotesis merupakan dugaan sementara terhadap permasalahan penelitian yang harus diuji kebenarannya melalui metode empiris. Berdasarkan uraian teori dan kerangka konseptual yang telah dijelaskan sebelumnya, maka hipotesis dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Diduga dalam jangka pendek, Indeks Pembangunan Manusia (IPM), Pembentukan Modal Tetap Bruto (PMTB), dan *Mobile Cellular Subscription* berpengaruh positif terhadap produktivitas tenaga kerja di Indonesia, sedangkan Emisi Karbon berpengaruh negatif terhadap produktivitas tenaga kerja di Indonesia periode 1990-2024.

2. Diduga dalam jangka panjang, Indeks Pembangunan Manusia (IPM), Pembentukan Modal Tetap Bruto (PMTB), dan *Mobile Cellular Subscription* berpengaruh positif terhadap produktivitas tenaga kerja di Indonesia, sedangkan Emisi Karbon berpengaruh negatif terhadap produktivitas tenaga kerja di Indonesia periode 1990-2024.